

Journal of Engineering Research

ISSN 2764-1317

vol. 6, n. 2, 2026

... ARTICLE 11

Acceptance date: 20/04/2026

CONSTRUCCIÓN DE UN DRON A PARTIR DEL CONTROLADOR DE VUELO PIXHAWK

Giorgio Mackenzie Cruz Martínez

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería
Toluca - Estado de México
<http://orcid.org/0000-0002-9590-6205>

Juan Carlos Pérez Merlos

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería
Toluca - Estado de México
<http://orcid.org/0000-0001-6189-5125>

Mireya Salgado Gallegos

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería
Toluca - Estado de México
<http://orcid.org/0000-0003-2675-9456>

César Adán Estrada Araujo

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ingeniería
Toluca - Estado de México



All content published in this journal is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Resumen: En la actualidad, el uso de drones o dispositivos aéreos no tripulados se utilizan en diferentes áreas como seguridad, entretenimiento, agricultura, etc. Es una tecnología que involucra varios conocimientos: aero-espacial, electrónica y comunicaciones, mecánica e instrumentación y control por lo que presenta enormes nichos de oportunidad para el desarrollo tecnológico en otras aplicaciones. Estos drones comúnmente ya están contruidos, pero es interesante conocer cómo construir uno. En este trabajo se describe la construcción de un dron con el controlador de vuelo Pixhawk, el dron será para uso didáctico. Se utilizaron tres módulos; un módulo de telemetría, otro de ubicación y uno más de potencia. El dron pesó 2 Kg, la prueba de vuelo se realizó hasta 1.5 Km a la redonda, con una capacidad de vuelo de 10 minutos y soportó 1 Kg más de peso.

Palabras Clave: Dron, controlador de vuelo, GPS, Pixhawk, computadora de vuelo.

INTRODUCCIÓN

El deseo humano de volar alto surgió tan pronto como el sentido común. Sin embargo, tomó mucho tiempo hacerlo realidad. Numerosos científicos trabajaron en este tema, lo que exigió la vida de muchas personas valientes, hasta que finalmente el hombre pudo elevarse desde la tierra. Primero conquistaron el aire con globos, luego con dirigibles y, finalmente, con aviones (Palik & Nagy, 2019).

La idea de usar una máquina que pudiera volar sin una persona a bordo siempre ha estado presente en la mente de los investigadores, ésta no sorprende en absoluto, ya que las ventajas de un sistema de este tipo son obvias. No se tiene que contar con

riesgos del personal a bordo si la aeronave se destruye por alguna razón, además, se pueden utilizar para tareas tediosas como el reconocimiento aéreo. Finalmente, su ventaja financiera es incuestionable, ya que, en general, el precio de un Vehículo Aéreo no Tripulado (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) es inferior al de una aeronave convencional (Palik & Nagy, 2019).

De acuerdo con Addati et al (2014), el UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), dron (zángano) o VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) de uso civil es una aeronave a propulsión, no tripulada y reutilizable que opera mediante control a distancia y autónomamente. El dron es únicamente una plataforma portadora de algún tipo de sensor que tiene por finalidad la obtención de datos geoespaciales. También, el UAS (*Unmanned Aircraft System*) es el acrónimo generalmente utilizado para describir la totalidad del equipo de operación. Incluye la aeronave, la estación de control, desde donde se opera a la misma, y la unidad remota de transmisión de datos, como se muestra en la Figura 1 (Addati & Pérez Lance, 2014).

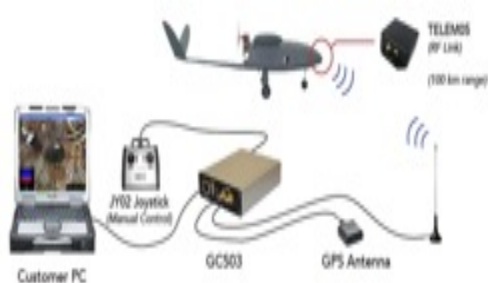


Figura 1. Estación de control de un sistema aéreo no tripulado. Fuente: (Addati & Pérez Lance, 2014).

Al igual que muchos objetos que se utilizan incluso en la vida civil, los UAV son

el resultado de los avances logrados durante los conflictos militares. Si bien ya a mediados del siglo XVIII se utilizaban globos no tripulados para destruir al enemigo (Palik & Nagy, 2019).

En los últimos años, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) han experimentado una rápida evolución, debido principalmente al desarrollo tecnológico. Los UAV son objeto de investigación en constante mejora, con el objetivo final de minimizar los requisitos de potencia y mejorar la estabilidad. La ausencia de humanos en los UAV ofrece numerosas ventajas sobre los aviones convencionales, como una mayor maniobrabilidad y un menor costo operativo (Sdoukou et al., 2025).

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se han consolidado como una herramienta revolucionaria en diversos campos de aplicación desde hace tiempo. Como consecuencia natural, la comunidad científica ha señalado sus ventajas y limitaciones, lo que ha llevado a los investigadores a estudiar soluciones cada vez más eficientes. Entre ellas, los vehículos aéreos no tripulados anclados (TUAV) se han convertido en una alternativa convincente a los sistemas convencionales sin ancla (Fattori & Cocuzza, 2025).

A diferencia de los UAV de vuelo libre/sin ataduras, los drones cautivos están conectados físicamente a una estación terrestre mediante un cable capaz de transmitir energía, datos o ambos. Esta configuración permite tiempos de vuelo significativamente más largos y mejora la estabilidad operativa al aprovechar la atadura como una restricción física que atenúa las perturbaciones (Fattori & Cocuzza, 2025).

Una de las principales preocupaciones asociadas con los UAV multirrotor es su limitada autonomía de vuelo, que suele alcanzar hasta 40 minutos antes de requerir la recarga o el reemplazo de la batería. Tampoco el uso de un cable de anclaje en sistemas UAV no se limita únicamente a la transmisión de energía; además desempeña un papel fundamental para permitir una comunicación de datos robusta y eficiente (Fattori & Cocuzza, 2025).

Los drones ya no solo se utilizan con fines militares, sino que también se extienden al sector civil, como la agricultura, la fotografía aérea, la cartografía, el transporte de mercancías y la búsqueda y el rescate. Uno de los componentes vitales de un sistema de drones es el controlador de vuelo, la unidad de control principal encargada de regular el equilibrio y la navegación del dron durante el vuelo (Muda, 2025).

Addati et al (2014) comentan que los drones se clasifican principalmente en dos categorías: configuración y tamaño. Por su configuración, se encuentran dos tipos, los drones de ala fija y los de ala giratoria. Los drones de ala fija (Figura 2) tienen sus alas unidas con el resto del cuerpo y la elevación se debe al perfil aerodinámico de la aeronave. De acuerdo con la posición del ala, esta se subdivide en Ala Alta, Ala Media y Ala Baja. El Ala Alta se ubica en la parte superior del cuerpo del dron, también conocido con fuselaje, cuenta con gran estabilidad, pero maniobrabilidad limitada; el Ala Media, se ubica en la parte media del fuselaje, lo que proporciona equilibrio entre estabilidad y maniobrabilidad; y, el Ala Baja, se ubica en la parte inferior del fuselaje. Por otra parte, los drones de ala giratoria giran sus alas o rotores a gran velocidad para elevar el dron,

como sucede con un helicóptero (Addati & Pérez Lance, 2014).



Figura 2. Drones de ala fija. Fuente: (Addati & Pérez Lance, 2014).

Los UAV multirrotor, con base en el número de rotores, se dividen generalmente en cuadrirrotor, hexarrotor y octorrotor. La capacidad de carga de los UAV de ocho rotores es mayor que la de los cuadrirrotor. Además, por la disposición del chasis se dividen generalmente en dos tipos: “+” y “X” como se muestra en la Figura 3 (Guo et al., 2021).

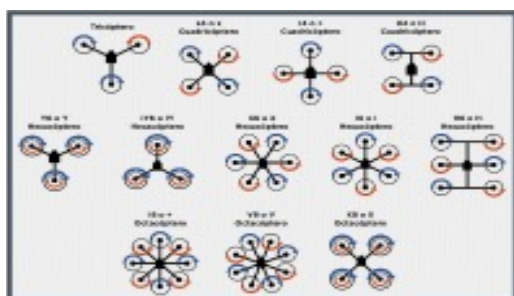


Figura 3. Tipo de multirrotores según el número de rotores y de su disposición. Fuente: (Guo, 2021).

Por otra parte, Muda (2025), comenta que existen diversos tipos de controladores de vuelo en el mercado, desde los de código abierto como Pixhawk y Ardupilot, hasta los comerciales como DJI Naza y APM. Pixhawk, es uno de los más populares ya que cuenta con funciones avanzadas de navegación automática basada en GPS (*Global Positioning System*), configuración de puntos de referencia, monitorización compleja de

sensores y sistemas de seguridad; estas características lo hacen muy fiable tanto para misiones profesionales como autónomas (Muda, 2025).

Sdoukou et al (2025) mencionan que los principales componentes electrónicos que constituyen a un UAV son el armazón o marco, las baterías, el controlador electrónico de velocidad (*Electronic Speed Control*, ESC), los motores, las hélices, el controlador de vuelo (FC), el transceptor y el sistema de imágenes y sensores (ISS) (Sdoukou et al., 2025).

También Sadati (2014), comenta que los aspectos que caracterizan al UAV:

- Espacio aéreo: altura de vuelo, distancia, área, exterior o interior, urbano, suburbano o rural.
- Dron: peso, ala fija o rotante.
- Tipo de sensor: fotografía, video, térmico, LiDAR (*Light Detection and Ranging*), etc.
- Operador remoto: vuelo visual o navegación autónoma, capacitación requerida, permisos, certificado de aeronavegación.
- Legislación: legislación nacional, RAAC y ANAC, comparada, internacional (OACI).

Para los multicópteros (dron con tres o más motores), los factores más cruciales para una selección adecuada son el diámetro, los materiales y la configuración del vehículo. El diámetro del chasis es igual a la distancia entre los motores opuestos, esto permite proporcionar la mejor ubicación espacio y altura para la batería, a la vez que se garantiza que las hélices tengan suficiente espacio para girar. Se puede decir, que la longitud del chasis (L) depende del diámetro de la hé-

lice (D) y del número de motores (n), utilizando la ecuación 1 (Sdoukou et al., 2025):

$$L = D_{\max}/\text{Sen}(360/2n) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

L = Longitud del marco

D_{\max} = Diámetro de la hélice

n=Número de motores

Guo et al (2021) comentan que para el diseño del bastidor se deben determinar los datos iniciales que mejor se ajusten a los requisitos: el peso máximo de despegue, la relación empuje-peso máxima y la carga útil. Posteriormente, las dimensiones geométricas se pueden determinar eficazmente mediante la fuerza de empuje máxima requerida para cada hélice, la cual se calcula con la ecuación 2 (Guo et al., 2021):

$$F = (M_{\max} * P)/n \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

F = Fuerza máxima de empuje de un rotor

M_{\max} = Masa máxima de despegue

P = Relación máxima entre empuje y peso

n = Número de hélices

Las especificaciones de los motores y las hélices se pueden utilizar para diseñar el UAV, como se indica en la Tabla 1. Generalmente, las hélices de gran tamaño deben combinarse con motores con un valor de KV pequeño para mejorar la fuerza de empuje de los UAV multirrotor (Guo et al., 2021).

Motor (valor KV*100)	Hélices (pul)
8-10	11-10
10-12	9-10
12-18	8-9
18-22	7-8
22-26	6-7
26-28	5-6

Tabla 1. Especificaciones de motores y hélices. Fuente: (Guo et al., 2021).

Guo et al (2021), también recomiendan que la relación geométrica entre la distancia entre ejes L y el radio máximo de la hélice r_{\max} es indicada en la ecuación 3:

$$\text{Sen } \theta = r_{\max}/\left(\frac{L}{2}\right) \quad \text{Ec. (3)}$$

Con

$$\theta = \frac{360}{2n} \quad n = 4,6,8.. \quad \text{Ec. (4)}$$

Para que el armazón del UAV sea lo más compacto posible, es inevitable satisfacer el requisito de la ecuación 5, donde r_p representa el radio de la hélice, que se determina por la masa y la carga útil del armazón del UAV, es decir:

Donde:

r_p = Radio de la hélice

r_{\max} = Radio máximo de la hélice

Hepperle (1996) comentado por Hedlund (2025) sugiere que el aspecto más importante del motor y la hélice es el empuje generado por el rotor, el cual debe ser lo suficientemente grande como para superar el peso de la aeronave, de lo contrario, el vuelo es imposible. El empuje generado por una hélice se puede describir con la ecuación 6 (Hedlund, 2017).

$$T = \left(\frac{\pi}{4}\right) * D^2 * \rho * v * \Delta v \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

T = Empuje generado por la hélice en Newtons

ρ = Densidad del medio en el cual la hélice desplazará para el empuje, para el aire es igual a 1.225 kg/cm³

D = Diámetro de la hélice

Δv = Velocidad de salida del aire acelerado por la hélice en m/s

v = Velocidad del aire entrando a la hélice en m/s

Antecedentes

Muda (2025) muestra en su trabajo que Arduino Uno puede ser usado como un controlador de vuelo alternativo a los drones cuadricópteros, especialmente para fines educativos, investigación inicial y experimentos de bajo costo. Al utilizar el sensor MPU6050 y el algoritmo PID, Arduino Uno puede realizar funciones de control básicas como mantener la estabilidad del dron, maniobrar direcciones (cabeceo, alabeo, guiñada) y mantener el vuelo estacionario en modo manual y piloto automático simple (Muda, 2025).

Romero et al (2024) diseñaron una computadora de vuelo para un cohete experimental XITZIN II utilizando un controlador redundante con un Arduino Mega 2560 y el respaldo con una Raspberry Pi pico RP 2040, además con un Arduino Nano se controlaron los servomotores que manipulan los alerones. Para la comunicación con la estación terrena se usó un módulo XBee a 2.4 GHz (Romero Salas, 2024).

Reyes et al (2017), crearon un dron hexacóptero para labores de investigación con una placa controladora de vuelo Pixhawk que actúa sobre el hardware del dron y una tarjeta Raspberry pi 3 que sirve de intérprete entre un dispositivo móvil y el dron. El móvil con sistema operativo Android basado en el estándar IEEE 802.11a. El sistema es aplicable a controladores abiertos basados en el protocolo MavLink. Los resultados mostraron que el dron tuvo una duración de vuelo de 24 minutos (Reyes Pausà, 2017).

Amado y Mendoza (2017), presentaron una computadora de vuelo para el cohete Sonda Libertador I, con el objetivo de la recuperación del cohete. La misión se dividió en dos partes, liberación del paracaídas y enviar una señal cuando el cohete fuera en caída libre; utilizaron dos arduinos, uno con Atmega 328 y otro con Atmega 128 en conexión maestro esclavo respectivamente con el bus I2C así como con los sensores acelerómetro, medidor de altitud (a través del barómetro) y una microSD para almacenar los datos (Amado Morales, 2017).

Con base en la información anterior, se puede decir, que muchos artículos describen las aplicaciones de los drones y pocos son los que detallan su construcción y el control electrónico o la instrumentación, por ello, es interesante describir detalladamente el proceso de construcción de un dron de uso recreativo. Debido a esto, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México, se construyó un dron basado en la computadora de vuelo Pixhawk para una aplicación recreativa.

DESARROLLO

Para el desarrollo del dron se siguió la siguiente metodología:

Donde:

PDB = Tablero de distribución de energía

PM = Puerto de alimentación del Pixhawk

PM/atto = Módulo de potencia opcional 3DR para voltajes superiores a 4S

La estructura donde se montaron los componentes del dron fue un chasis F450 (Figura 7), la cual está fabricada con un material plástico de alta resistencia y que además consta de una PDB (*Power Distribution Board*) o placa de conexión en el centro de ésta para realizar la conexión eléctrica de los variadores. Se hizo uso de esta estructura por su facilidad de armado y su costo comercial accesible, conservando las características para desarrollar un dron resistente y con capacidad de carga de hasta 2kg.



Figura 7. Chasis F450. Fuente: Elaboración propia

El motor es la parte fundamental del dron ya que se encarga de transformar la energía eléctrica proveniente de la reacción química que ocurre en la batería en energía mecánica la cual es transmitida a las hélices. Para este dron se utilizaron 4 motores del tipo “brushless” o también llamados sin es-

cobilla de la marca Readytosky con características RS 2212-920KV (Figura 8).



Figura 8. Motor brushless ReadyToskyMR. Fuente: Elaboración propia

El motor fue alimentado con una batería de 4 celdas. Es un modelo 2212, lo que significa que el estator tiene 22mm de diámetro y 12mm de alto. La constante 920KV implica que por cada voltio que se aumente, el rotor aumentará su velocidad de giro en 920 rpm. El empuje máximo que generan es de 500 gr por unidad, por lo que se dispusieron de 2 kg de empuje. El fabricante recomendó que se usen con unos variadores de velocidad de 30A ya que la intensidad de corriente máxima que necesitan los motores era inferior a ese valor.

Los controladores de velocidad electrónicos (*Electronic Speed Controller, ESC*) según la corriente que demandan los motores, fueron escogidos con un valor mayor para evitar posibles contratiempos o accidentes por un pico de corriente que puede llegar a dañar el controlador y hacer que la aeronave caiga en picada. Por lo tanto, se utilizaron 4 ESC del tipo 30A BLDC (*Brushless Direct Current, BLDC*) totalmente programable con BEC (*Battery Eliminator Circuit, BEC*) de 5V y 3A (ver Figura 9). El controlador puede accionar motores con corriente de

carga continua de 30 amperios, tiene una construcción robusta con 2 PCB separados para el controlador y un MOSFET de potencia. Se puede alimentar con 2-4 baterías de polímero de litio o 5-12 baterías de NiMH/NiCd, además cuenta con un regulador de voltaje separado para el microcontrolador, el cual minimiza interferencias. El controlador es adecuado para vehículos aéreos no tripulados, aviones y helicópteros.



Figura 9. Control de velocidad electrónica ESC del tipo 30 BLDC. Fuente: Elaboración propia

El ESC tiene tres cables azules que salen de un extremo y que deben conectarse al motor BLDC. En el otro extremo, tiene un cable rojo y uno negro que se conectaron a la batería. También tiene un conector servo de 3 pines que se utilizó para recibir el acelerador y para entregar suministro regulado de 5V, 3A para el receptor remoto y el servomotor, en la Figura 10 se muestran los cuatro ESC unidos a la placa.



Figura 10. Control de velocidad electrónica ESC soldado a la placa. Fuente: Elaboración propia

En la estructura se montó cada motor en el lugar correspondiente, es decir, se tuvo un par de motores que giran en sentido horario y otro par que giran en sentido anti-horario, estos se pueden distinguir por el color de la tuerca que traen, el motor con tuerca color negra indica que el motor gira en sentido anti-horario y el motor con tuerca plateada indica que gira en sentido horario, la forma en que se situaron se muestra en la Figura 11.

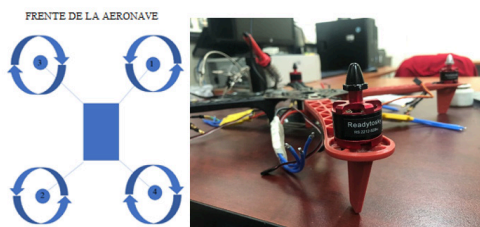


Figura 11. Colocación de los motores de acuerdo con su sentido de giro. Fuente: Elaboración propia

Para la señal del control el ESC 30A BLDC requiere de una señal PWM estándar de 50-60 Hz desde cualquier control remoto como el acelerador. También se puede generar una señal de entrada similar desde un microcontrolador si desea desarrollar su propia plataforma de vuelo. La velocidad del acelerador es proporcional al ancho del pulso. La posición máxima del acelerador es programable por el usuario.

Su funcionamiento se rige por “modulación por ancho de pulso” o PWM y se ve reflejado cuando el receptor del sistema autopiloto envía dicha señal al módulo ESC con variaciones de tiempo de 1 a 2 milisegundos, donde se tiene que para 1 milisegundo el motor se haya detenido, para 1.5 milisegundos el motor gira a la mitad de su

potencia y a 2 milisegundos este funciona al 100% de su potencia.

Se utilizaron 4 hélices Readytosky 1045 fabricadas en ABS (*Acrlonitrilo Butadieno Estireno*) mediante moldeo por inyección, como la mostrada en la Figura 12. Es un modelo muy resistente capaz de soportar los golpes propios del vuelo de un dron, así como proporcionar de forma sencilla estabilidad al mismo. El modelo “1045” tiene un diámetro de 10 pul y un pitch o paso de 4.5 pul.



Figura 12. Hélice ReadyTosky 1045 fabricadas en ABS. Fuente: Elaboración propia

El módulo de potencia AP/Pixhawk V6.0 (Figura 13), se encarga de alimentar al sistema autopiloto y los ESC de forma controlada, suministra información al software de calibración sobre el consumo de corriente y voltaje de la batería LiPo en tiempo real, de forma que la tarjeta de control pueda calcular el tiempo restante de vuelo acorde a la capacidad restante.



Figura 13. Módulo de alimentación APM 2.5.2/2.6/2.8. Fuente: Elaboración propia

Se montó el controlador de vuelo Pixhawk, sobre la estructura del dron específicamente en el centro, se pegó con silicón caliente para que no se moviera y que este mismo funcione como un cardan, es decir, el mismo plástico del silicón sirviera de amortiguamiento, tomando de referencia la flecha blanca que tiene la Pixhawk como el frente para ubicar la numeración de los motores o los brazos.

También se montaron los dispositivos restantes como el receptor y el codificador PPM, para ello, se realizó la conexión previa entre el codificador y el receptor antes de montarlo de la siguiente forma (Figura 14).



Figura 14. Conexión entre el receptor y el codificador PPM. Fuente: Elaboración propia

El codificador de modulación por posición de pulso (*Pulse Position Modulation, PPM*) tiene el rol de recibir las salidas de las señales de modulación ancho de pulso (*Pulse With Modulation, PWM*) de múltiples canales de un receptor de radio control (R/C) y codificarlas en una señal compuesta PPM ya que utiliza una conexión de un solo cable para soportar el control de vuelo. El codificador PPM permite codificar hasta 8 PWM en una señal PPM, como el mostrado en la

Figura 15. El codificador PPM que se usó fue una versión 2.1 que utiliza el firmware ArduPPM, sustituyendo al que anteriormente usaba el firmware de Paparazzi PPM Encoder.



Figura 15. Codificador de modulación por posición de pulso PPM. Fuente: Elaboración propia

Para radio controles que contienen un receptor con salida SBUS, es decir, que es capaz de recibir y enviar información por un solo cable de forma digital binaria, no es necesario usar codificador, se puede conectar su receptor directamente al piloto automático o al controlador de vuelo ya que el piloto automático también contiene una entrada de señal SBUS, de lo contrario se tendría que seguir codificando a través de un módulo PPM.

Al utilizar este tipo de codificador las señales que se transmitan tendrán milésimas de retraso en su ejecución, ya que por medio de un módulo codificador PPM la información se transmite por diferentes cables, es decir, un cable del codificador para cada canal que se use en el radio control, por lo tanto, la transmisión es analógica y se estaría usando en la entrada RC de la tarjeta Pixhawk, contrario a una transmisión digital que se usa en la entrada SBUS de la Pixhawk. En este dron no se pudo implementar transmisión digital SBUS, ya que el radio control en su receptor solo tiene salidas analógicas. En

la Figura 16, se puede observar el rol de un codificador PPM.

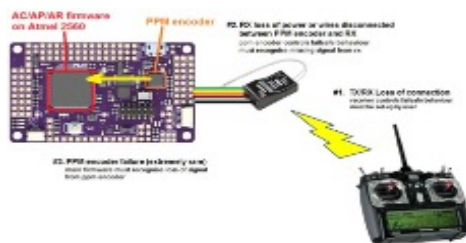


Figura 16. Conexión del codificador Modulación por posición de pulso PPM. Fuente: (Ardupilot.org, 2025).

Se usó el módulo GPS Readytosky M8N con brújula incorporada (ver Figura 17) para el controlador de vuelo estándar Pixhawk 2.4.8. Este módulo GPS está diseñado especialmente para controlador de vuelo Pixhawk 2.4.6 y 2.4.8. La precisión máxima es de 2.0 ft, mayor que la generación anterior NEO-7N de 1.4 a 5.2 ft de precisión. La luz GPS solo puede iluminar cuando busca la señal de satélite al aire libre.



Figura 17. El gps en su mástil. Fuente: Elaboración propia

Se utilizó un módulo de telemetría a 915 MHz (Figura 18) el cual envía información del dron mientras esté en vuelo, como su altitud, su dirección, el estado de la batería y su velocidad. La potencia de transmi-

sión es de 20 dBm (100mW), velocidad de datos de hasta 250 kbps en el aire, usa el protocolo MAVlink, modulación por espectro expandido por salto de frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*), multiplexado por división de tiempo adaptativo (TDM), con alcance de 1.8 Km, basado en el módulo de radio HM-TRP HopeRF con un microcontrolador SiLabs SI100 RF.



Figura 18. El módulo de telemetría: Elaboración propia

Teniendo el peso y consumo de energía de los componentes que se usaron para construir el dron, se eligió la batería que no aumentara el peso del dron a más de 1 kg y que suministrara la energía suficiente para alimentar los motores hasta su máxima potencia y el voltaje necesario para el controlador de vuelo y los componentes restantes. Por lo tanto, se utilizó una batería Ovonics 3s de 11.1V con 2200 mAh y una tasa de descarga de 25C, como la que se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Batería para el dron Ovonics. Fuente: (Ovonics.com, 2025)

En la Figura 20, se puede observar el dron construido con los todos los módulos de hardware, el paso siguiente fue descargar el firmware y probar las conexiones.



Figura 20. Dron con el controlador pixhawk y el gps en su mástil. Fuente: Elaboración propia

Se utilizó RC (radio control) modelo FS-T6 como el que se muestra en la Figura 21, el cual previamente fue configurado y conectado al dron para controlarlo de manera correcta. El transmisor de 6 canales FS-T6 puede transmitir en una frecuencia de 2.4 GHz, con ancho de banda de 500 KHz, potencia menos de 20 dBm, código GFSK y 1024 de sensibilidad, además de parámetros programables para soportar una variedad de helicópteros, planeadores y aviones. Incluso tiene la capacidad de almacenar 20 modelos permitiendo al usuario ahorrar toda una flota de aviones.



Figura 21. Radio control modelo FS-T6. Fuente: (Ardupilot.org, 2025).

Se realizó una tabla de datos (Tabla 2) de empuje para verificar que los motores usados son adecuados para que el dron vuele y mantenga su estabilidad, además de verificar el peso que puede levantar, el tiempo de vuelo que el dron construido puede alcanzar hasta 10 minutos.

RS 2212 KV 920	11.1V	1045	50%			250	5106		
			65%			325	6637.8		
			75%			375	7659		
			85%			425	8680.2		
			100%			500	10212		
Rpm = 11.1 x 920 = 10212									

Tabla 2. Datos calculados de forma analítica del empuje del dron construido. Fuente: Elaboración propia

Para el autopiloto se realizó la configuración y se usó el software correspondiente al controlador de vuelo ya que este depende de la marca y modelo, en este caso se usó Mission Planner de ArdupilotMR.

La tarjeta Pixhawk por sí sola no contiene firmware para su control, por lo que fue necesario instalarle uno para enviarle instrucciones, es importante asegurarse, antes de prender el dron, que contenga una tarjeta MicroSD la cual permite guardar la información de vuelo, como fotografías, etc.

Se utilizó Misión Planner para formatear la memoria del PixHawk y para cargar el firmware a través del puerto USB a 115200 baudios como se muestra en la Figura 22.



Figura 22. Software Mission Planner, descarga del firmware al Pixhawk. Fuente: (Ardupilot.org, 2025)

Se presenta en el software, un cuadro desplegable de varios firmwares para la placa, en este caso se seleccionó el tipo de piloto, para las placas marcadas como “Pixhawk”, al dron se le instaló el firmware Pixhawk1 el cual suele ser la mejor opción.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para iniciar la calibración del dron se requiere tener todo conectado, abrir el programa Mission Planner y conectar la Pixhawk con el cable USB.

Para comprobar la conexión de la tarjeta con el programa, se puede observar en la Figura 23, en Mission Planner la pantalla principal con la palabra “DISARMED”, al mover el dron hacia cualquier lado se mostrará en la pantalla indicando que la conexión e instalación de software fue exitosa.



Figura 23. Software Mission Planner, comprobación de conexión con Pixhawk. Fuente: Elaboración propia

Una vez probada la conexión, se realizó la calibración del dron, para ello se requiere tener conectados todos los dispositivos, se abre el programa Mission Planner y se conecta la Pixhawk con el cable USB (ver Figura 24).



Figura 24. Software Mission Planner, calibración del dron. Fuente: Elaboración propia

Dentro del programa se selecciona el puerto para la tarjeta, se da clic en CONECT y en seguida se reconoce el piloto automático, si el GPS funciona correctamente, en automático el programa marcará la ubicación del dron en el mapa, como se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Software Mission Planner, calibración del dron ubicación con el GPS. Fuente: Elaboración propia

Se selecciona en el menú el icono de configuración y en seguida la opción “Mandatory Hardware” donde se despliegan todas las características del dron que se van a calibrar, se selecciona el tipo de dron que se

construyó en la opción “Frame Type”, en este caso es un cuadricóptero, en la opción “Accel Calibration” se configura los mandos de vuelo que en automático lo selecciona el programa, para la primera casilla del modo de vuelo 4 se necesita tener el dron en un área plana y realizar los movimientos que va indicando el programa (Figura 26).



Figura 26. Prueba de motores del dron con el control remoto. Fuente: Elaboración propia

Las indicaciones son: en posición izquierda, derecha, nariz abajo, nariz arriba, posición espalda; al finalizar, debe indicar calibración exitosa (Figura 27).

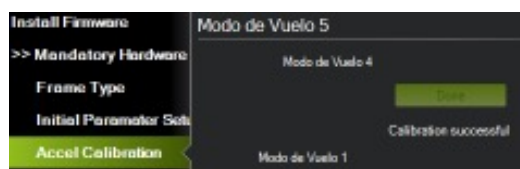


Figura 27. Prueba calibración exitosa. Fuente: Elaboración propia

En el software en la opción “Radio Calibration” se debe calibrar el radio control, para ello, es necesario tenerlo en mano, se enciende, si el radio se ha conectado correctamente con el dron las barras se cargarán en verde. Se da click en la casilla “calibrar radio”, luego en la casilla “Click when Done” y “OK” en las ventanillas que parezcan para iniciar con la calibración. En seguida solo

basta con mover las palancas y los interruptores del radio control en todas sus posiciones. Al final se da clic en “Completed” y después en “OK”, como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Finalización correcta de calibración del Radio control. Fuente: Elaboración propia

Para finalizar con la calibración, solo queda activar y seleccionar los modos de vuelo para el dron, en este caso solo se activan los modos de vuelo básicos, ya que solo se está en pruebas experimentales de construcción y funcionamiento. Para ello, se observa, en la calibración del radio control, que solo responda a modo de vuelo 1, modo de vuelo 4 y modo de vuelo 6, estos 3 modos se programan para los switches del control “SWD” y “SWC”.

En el programa se selecciona “Stabilize” para modo de vuelo 1, es decir, que en ese modo el dron se mantendrá a las indicaciones del radio control, para el modo de vuelo 4 se selecciona “Alt Hold” el cual permite mantener el dron en una altura indicada, es decir, cuando se realiza un plan de vuelo, y en el modo de vuelo 6 se elige “Loiter” el cual permite mantener el dron en la posición en la que se deja a pesar del viento u otros factores ambientales. Una vez seleccionados los modos se da click en “Save Modes (Figura 29).

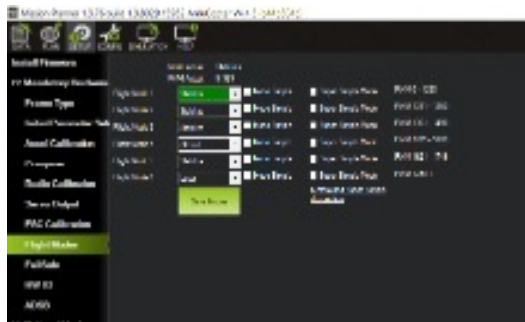


Figura 29. Prueba de motores del dron con el control remoto. Fuente: Elaboración propia

Solo resta indicarle al Radio Control las palancas con las que controlará los modos de vuelo. Para ello, se enciende y se seleccionan las opciones que se muestran en la Figura 30.



Figura 30. Prueba de motores del dron con el control remoto. Fuente: Elaboración propia

Es importante verificar la posición de las hélices y ponerlas adecuadamente ya que si se montan en sentido contrario al giro del motor la fuerza aerodinámica será de arriba para abajo por lo que, el dron se mantendrá ejerciendo presión sobre la superficie. Una vez que se comprueba que las hélices están en su posición correcta, se procedió a realizar la prueba a una velocidad del 20%, a esta velocidad el dron empieza a querer elevarse, el dron se eleva correctamente a una velocidad arriba del 60%. En la Figura 31, se muestra la prueba de encendido y prueba de motores respectivamente.



Figura 31. Prueba de encendido de motores y funcionamiento del dron con el control remoto.
Fuente: Elaboración propia

Para realizar la prueba de vuelo final, se cargó la batería que se usará para volar el dron, para lo cual, se requiere de un cargador especial, en este caso se hizo uso de un cargador universal “iMax B6AC” (Figura 32), el cual se programa conforme a las características de la batería que se va a cargar. Es importante que cuando se esté cargando este tipo de baterías se verifique constantemente, ya que no se deben dejar cargando más del tiempo excedido porque se pueden dañar o incluso ocasionar un incendio.



Figura 32. Cargador iMAX B6AC. Fuente: Elaboración propia

Prueba final

Para esta prueba se ubicó el dron en un área completamente despejada y con el suficiente espacio para prevenir los casos en el que el dron se desplome o se salga de control. Es importante respetar las reglas de

seguridad de vuelo de un dron, una de ellas es verificar que no estén personas cerca para evitar accidentes inesperados. El dron se colocó en un terreno baldío y los resultados finales fueron exitosos, con un alcance de 1.5 Km a la redonda con 10 minutos de vuelo y 2 Kg de peso (Figura 33).



Figura 33. Pruebas finales de vuelo del dron.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se obtuvo la Tabla 4 de manera experimental, es decir, el dron en funcionamiento, para corroborar los datos analíticos de la Tabla 3, ya que muchos dispositivos electrónicos tienen tolerancias o cambios de sus valores nominales con el ambiente y el uso.

	Voltio	Hélice	Aceleración	Amperios	Watts	Empuje (g)	RPM	Eficiencia	Temperatura (°C)
RS 2212 KV 920	11.1V	1045	50%			250	5106		
			65%			325	6637.8		
			75%			375	7659		
			85%			425	8680.2		
			100%			500	10212		

Tabla 4. Datos medidos experimentalmente del empuje del dron construido. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El alcance del vuelo del dron construido fue de 1.5 Km a la redonda.

El dron contiene tres modos de vuelo, Modo canal 1: “Stabilize”, Modo canal 4: “Alt Hold”, Modo canal 6: “Loiter”.

El dron cuenta con el módulo de telemetría para leer su altitud, dirección y estado de la batería en tiempo real. Además del módulo GPS para conocer su ubicación por medio de Mission Planner.

La duración del vuelo máxima del dron de 10 minutos y soporta 2 kg de peso.

El dron construido es utilizado para pruebas de vuelo por estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la FIUAEMEX.

REFERENCIAS

Addati, G. A., & Pérez Lance, G. (2014). **Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil.**

Ardupilot.org. (2025). **Pixhawk Overview — Copter documentation.** <https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html>

Fattori, F., & Cocuzza, S. (2025). **Tethered Drones: A Comprehensive Review of Technologies, Challenges, and Applications.** *Drones*, 9(6), 425.

Guo, H., Li, M., Sun, P., Zhao, C., Zuo, W., & Li, X. (2021). **Lightweight and maintainable rotary-wing UAV frame from configurable design to detailed design.** *Advances in Mechanical Engineering*, 13(7), 16878140211034999.

Hedlund, D. (2017). **Motor system design for large UAV.** In.

Muda, N. R. S. (2025). **Implementation of Arduino Uno as Flight Control on Quadcopter Drones.**

Ovonic.com. (2025). **Ovonic Australia Store - RC Lipo NIMH Battery & Charger For FPV.** https://www.ovonicshop.com/?srsltid=AfmBOortdnfj-8wl2HayvofLurTj--T_053awnxoso-UfNS-jOwuQSCa

Palik, M., & Nagy, M. (2019). **Brief history of UAV development.** *Repüléstudományi Közlemények*, 31(1), 155–166-155–166.

Reyes Pausà, P. (2017). **Diseño de un multi-cóptero para investigación controlado vía terminal Android.** Universitat Politècnica de València.

Sdoukou, E., Milidonis, A., Efstathiou, K., & Voyiatzis, I. (2025). **A survey of UAV hardware selection.** *Journal of Engineering and Applied Science*, 72(1), 88.