DRONES4VET

Co-funded by the European Union

MÓDULO 03

PROGRAMA DE FORMACIÓN

DINÁMICA Y MANTENIMIENTO DE DRONES

Comunidad de Madrid
Dirección General de Formación
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, HACIENDA Y EMPLEO
DEX Desarrollo de Estrategias Exteriores
CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS D'EXCELLENCE Habitat, énergies renouvelables et éco-construction Occitanie
MTU Ollscoil Teicneolaíochta na Mumhan Munster Technological University
BZB Bildungszentren des Baugewerbes e.V.
fh KufsteinTirol UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Índice

1. Objetivos del módulo 6

2. Mecánica de vuelo 7

2.1 Elevación aerodinámica 7

2.2 Resistencia aerodinámica 8

2.3 La hélice realiza el movimiento y la elevación 9

2.4 Dirigir un UAS multirrotor mediante fuerzas de hélice desequilibradas 11

2.5 Movimientos de un avión 12

2.6 Equilibrio de fuerzas - movimiento de masas de aire 13

3. Partes esenciales de un dron multirrotor 14

3.1 Receptor 15

3.2 Controladora de vuelo 16

3.3 IMU - Unidad de medición inercial 17

Altímetro barométrico: relativo al punto de despegue 17

Magnetómetro : dirección y actitud (brújula) 17

Giroscopio : actitud 18

Acelerómetro : cambio de velocidad en todas las direcciones 19

Termómetro 19

3.4 Sensores de proximidad ultrasónicos 20

Verticalmente bajo el dron: baja altitud respecto al suelo 20

Horizontalmente en los laterales del dron 20

3.5 Sensores de proximidad de imagen 21

3.6 GNSS sistema mundial de navegación por satélite ("GPS") 22

Posicionamiento GNSS del dron: respecto al punto de despegue 22

Precisión mejorada: RTK, posicionamiento centimétrico 22

3.7 Motores eléctricos y sus ESC 23

3.8 Hélices 24

3.9 Unidad de potencia (cuadro de distribución de potencia) 25

3.10 Baterías 26

4. Emisora 29

4.1 Transmisión 29

4.2 Control 30

Modos de control 30
4.3 Parámetros en la pantalla 33
5. Mantenimiento 35
5.1 Registros de mantenimiento 35
5.2 Contenido del programa de mantenimiento 36
5.3 Primera comprobación tras el montaje 37
Revisión de todos los elementos 37
Prueba funcional en tierra 37
Prueba de vuelo funcional 38
Batería 38
5.4 Revisiones periódicas 40
5.5 Otras reseñas 42
6. Ejemplo de registro de mantenimiento uas 43

DRONES4VET: participantes y autores del proyecto Erasmus+

Equipo CMQE HEREC Occitania Francia:
Régis Lequeux – profesor e ingeniero en ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes – coordinador de los 10 módulos
Nicolas Privat - profesor e ingeniero en ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes
Eric Remola – profesor de ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes
Nicolas Vassart - profesor y doctor en ingeniería civil, Lycée Dhuoda, Nîmes
Valerie Poplin - Directora ejecutiva de CMQE

Equipo MTU Irlanda:
Sean Carroll, profesor, ingeniero civil
Michal Otreba Inz, profesor, ingeniero civil
coordinadores de "Sesiones de Nivelación y Seguimiento para formadores"

Universidad de Ciencias aplicadas. Kufstein Tirol. Austria
Emanuel Stocker, Profesor universitario en gestión de instalaciones y bienes raíces. Coordinador del manual.
Sarah Plank, Controlador de Investigación y Desarrollo

Equipo CRN Paracuellos (DG de Formación. Comunidad de Madrid) España.
Promotores del proyecto
José Manuel García del Cid Summers, Director
Daniel Sanz, director de Dron-Arena
Santos Vera, técnico
Jorge Gómez Sal, jefe de la unidad técnica
Fernando Gutiérrez Justo. Coordinador Erasmus

BZB Düsseldorf. Alemania
Frank Bertelmann-Angenendt, director de proyecto
Markus Schilaski, director de proyecto

DEX. España
Ainhoa Pérez
Ignacio Gómez Argüelles
Diego Díaz Mori
Yvan Corbat

1. Objetivos del módulo

Este módulo se divide en dos partes principales:

Capítulos 1, 2 y 3: conocimientos esenciales sobre cómo el dron utiliza las fuerzas aerodinámicas para volar, con información sencilla sobre mecánica de vuelo. A continuación, se describe el papel y la función de los distintos componentes de vuelo de un dron. Por último, el funcionamiento general del joystick.

Capítulos 5 y 6: cómo mantener el dron en buenas condiciones para el vuelo y registrar las operaciones de mantenimiento según un plan profesional.

El módulo se centra en el dron multirrotor, destinado a pilotos de nivel básico.

No se aborda la física, sólo las cuestiones prácticas.

2. Mecánica de vuelo

2.1 Elevación aerodinámica

Alrededor de un ala o hélice que se mueve en el aire, hay una compresión de aire bajo el perfil aerodinámico (intrados, la superficie inferior) y una depresión en la parte superior del perfil aerodinámico (extrados, la superficie superior).

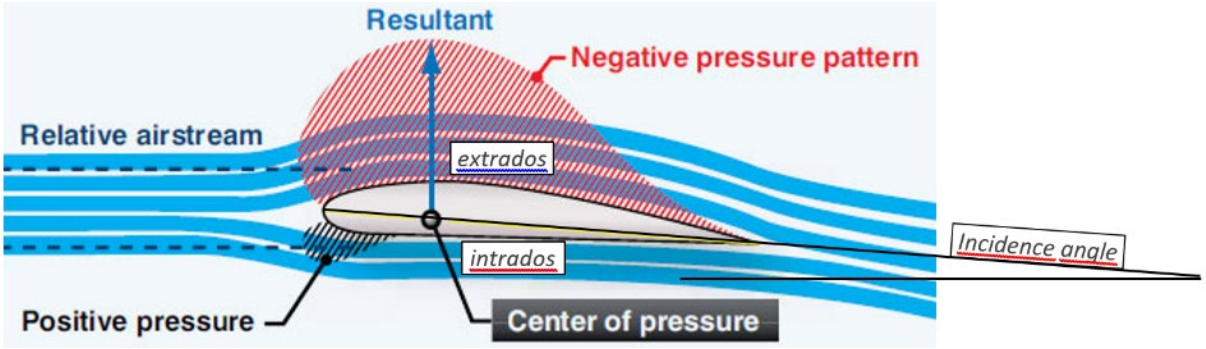


Figura 1 sustentación del ala - (flight-mechanic.com-modificado)

Gracias a esta sustentación, se compensa el peso de la aeronave.

Nótese la importancia del "ángulo de incidencia": si el ángulo es demasiado bajo, la sustentación será escasa, si el ángulo es demasiado alto, el ala "entrará en pérdida", es decir, la sustentación disminuirá drásticamente, el avión puede caer.

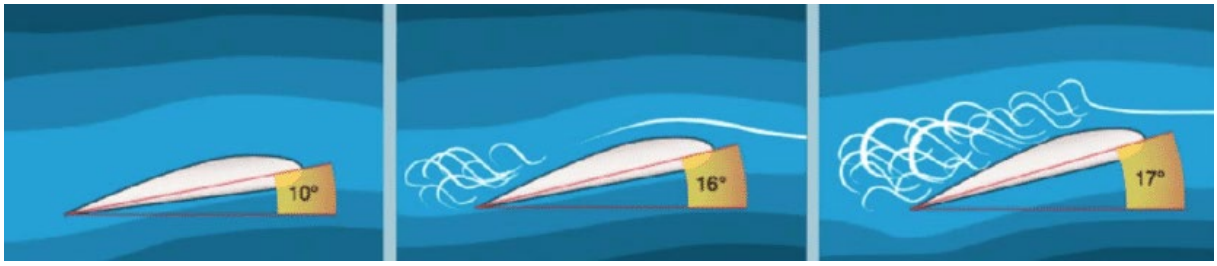


Figura 2 Puesto (researchgate.net/profile/Mariateresa-Sestit)

Por encima, el ángulo de incidencia es demasiado elevado en los dibujos de 16° y 17°: el flujo de aire ya no se pega al ala, la depresión deja de existir (sustituida por una resistencia aerodinámica) y la fuerza de sustentación se pierde totalmente.

2.2 Resistencia aerodinámica

Si la forma de un cuerpo que se desplaza por el aire no es cónica, el flujo de aire puede provocar un vórtice que impida el avance del elemento: la resistencia aerodinámica.

La resistencia, el vórtice, la turbulencia, la estela que se crea depende de la forma.

Esta turbulencia crea una fuerza que opuesta al movimiento de la aeronave.

... ¡a su vez la resistencia aumenta con el cuadrado de la velocidad!

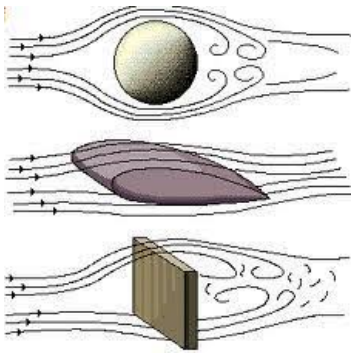


Figura 3 Resistenca aerodinámica (cyclingdynamics.com)

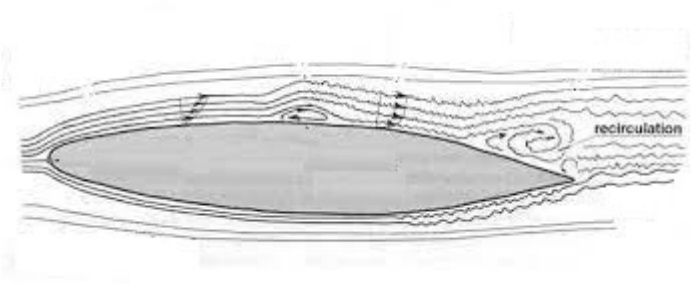


Figura 4 Arrastre de un perfil

Incluso un perfil aerodinámico puede presentar turbulencias: preste atención al buen estado de las hélices de los drones. Su eficacia depende de ello.

2.3 La hélice realiza el movimiento y la elevación

En los drones de ala fija, como en los aviones, actúan cuatro fuerzas:

- La elevación de las alas
- El peso del avión
- La propulsión de la hélice que asegura sólo el desplazamiento
- La resistencia que dificulta el movimiento

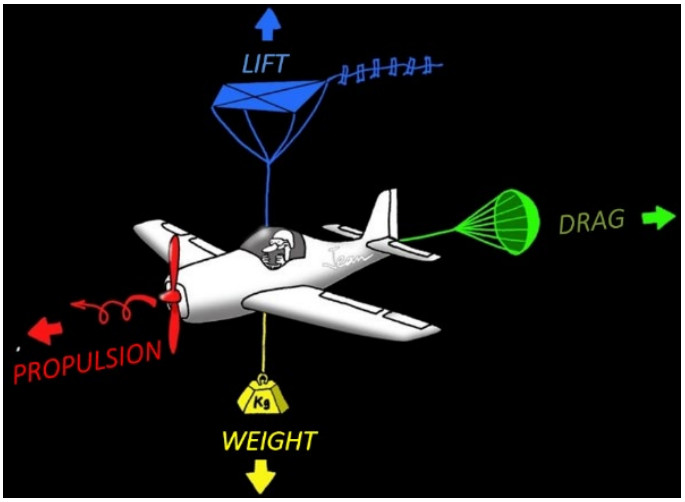


Figura 5 las 4 fuerzas que intervienen en el vuelo

Figura 6 Dron de ala fija "Disco" (technique-ingenieur.fr)

En los drones multirrotor, es la inclinación de las hélices lo que hace que la aeronave se mueva

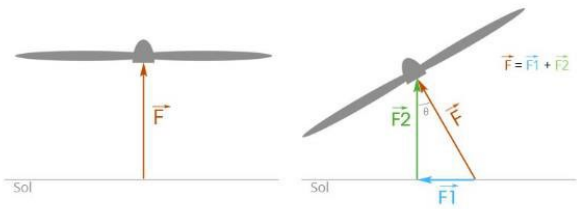


Figura 7 elevación y propulsión de la hélice-(firediy.fr)

Cuando la hélice se inclina, una parte de su fuerza aerodinámica asegura el movimiento del dron. Como en un helicóptero

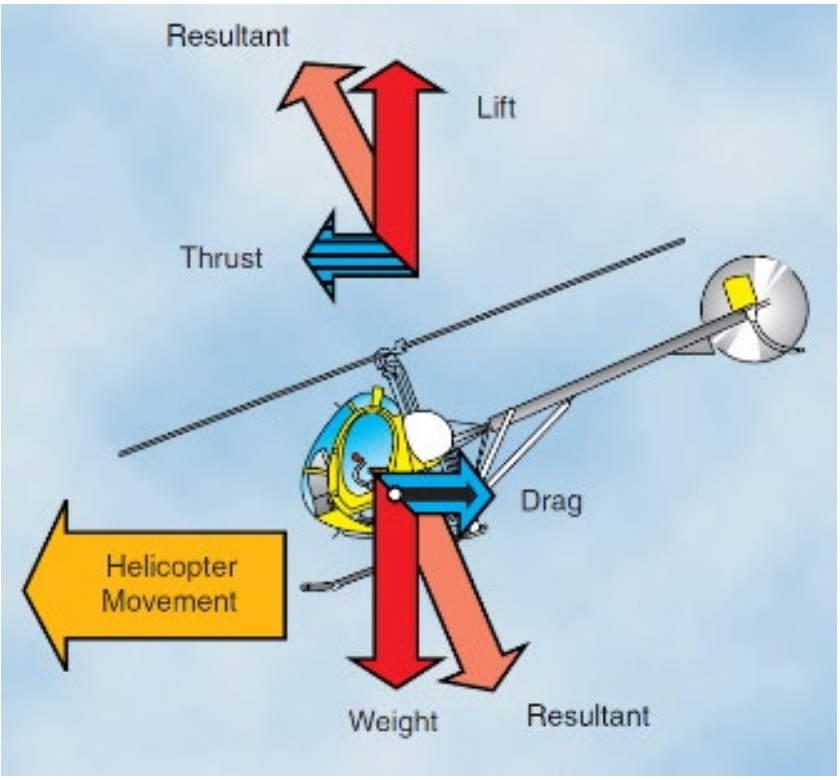
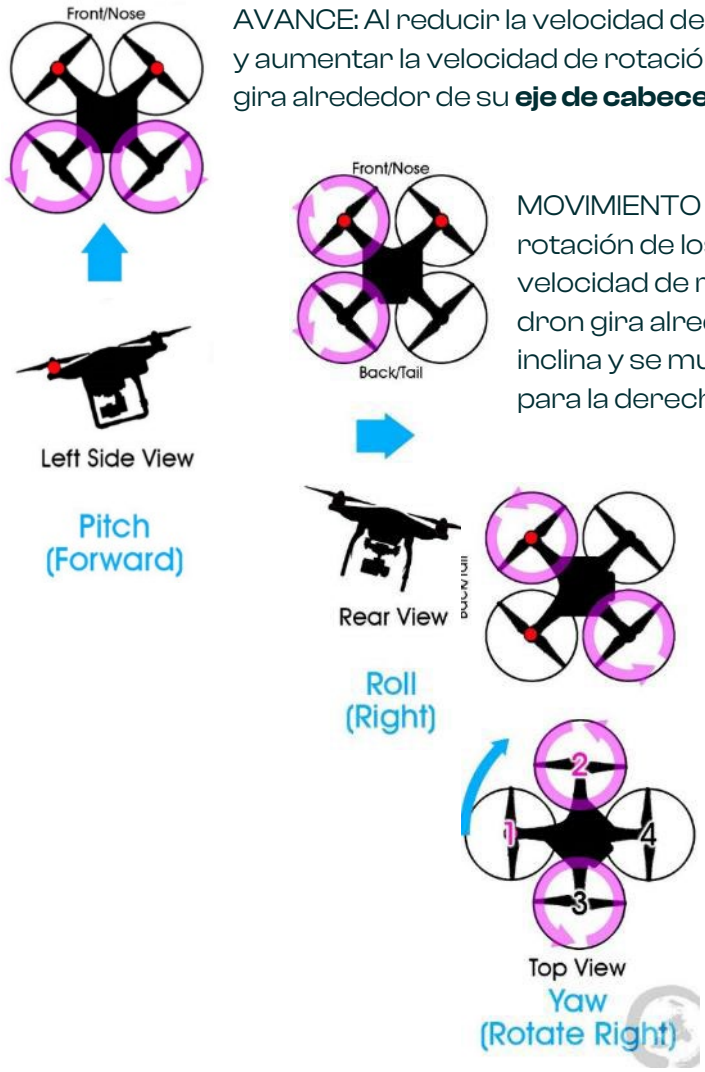


Figura 8 un helicóptero se inclina hacia delante para volar-(aircraftsytemstech.com)

2.4 Dirigir un UAS multirrotor mediante fuerzas de hélice desequilibradas



AVANCE: Al reducir la velocidad de rotación de los motores delanteros y aumentar la velocidad de rotación de los motores traseros, el dron gira alrededor de su **eje de cabeceo**, se inclina hacia delante y avanza.

MOVIMIENTO LATERAL: Al reducir la velocidad de rotación de los motores izquierdos y aumentar la velocidad de rotación de los motores derechos, el dron gira alrededor de su **eje de balanceo**, se inclina y se mueve hacia la izquierda. Lo mismo para la derecha.

GIRAR SOBRE SÍ MISMO: Al disminuir la velocidad de rotación de los motores diametralmente opuestos, el dron gira alrededor de su eje de guiñada, cambiando su dirección. Este cambio en la velocidad de rotación afecta al par de arrastre global (véase más arriba) y hace que el dron gire alrededor de su eje de **guiñada**.

Figura 9 Acciones de las hélices para dirigir un dron multirrotor (i.pinimg.com)

Las condiciones meteorológicas o las características del aire (temperatura, densidad) pueden afectar a estas fuerzas y, por tanto, al rendimiento del dron. Recordemos que un aumento de la temperatura o una disminución de la presión (en altitud, por ejemplo) disminuyen la sustentación.

2.5 Movimientos de un avión

- Alabeo: Eje longitudinal alrededor del cual gira el dron para trasladarse hacia la izquierda o hacia la derecha.
- Cabeceo: Eje lateral alrededor del cual gira el drone para avanzar o retroceder
- Guiñada: movimiento alrededor del eje vertical para cambiar la orientación (rumbo).

La actitud (con dos "T") es la posición del dron con respecto a la horizontal

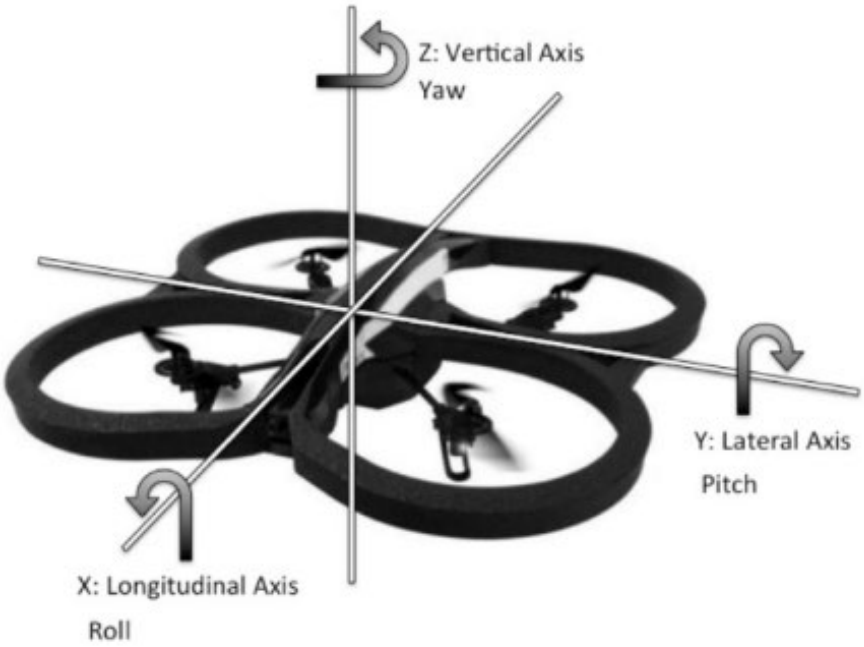


Figura 10 Nombres de ejes de drones (y aviones) (parrot.fr)

2.6 Equilibrio de fuerzas - movimiento de masas de aire

La ELEVACIÓN, fuerza dada por las alas, para un avión o por las hélices para un cuadricóptero, ←EQUILIBRIO→ del peso

La TRACCIÓN, dada por la hélice, con la ayuda del cabeceo de un cuadricóptero ←EQUILIBRIO→ de la Resistencia, vórtice que frena el dron.

Para que el dron pueda ascender o permanecer en el aire sin caer, debe recibir un fuerza que contrarreste el PESO y ésta es la fuerza de SUSTENTACIÓN que es dada por las helices o por las alas.

Por otro lado para que el dron se pueda mover en el plano XY el EMPUJE debe ser mayor a la RESISTENCIA que le frena.

Como resultado, deben existir muchos sensores en el dron para garantizar su manejo.

Una acción sobre la unidad de mando desequilibra estas fuerzas para crear el movimiento.

El sensor **GNSS** (GPS en lenguaje coloquial) y la cámara que mira hacia abajo permiten que el dron mantenga una posición estable en relación con el suelo, durante el vuelo estacionario, mientras que el **GNSS,** ajusta la velocidad de avance y el rumbo para intentar contrarrestar el viento.

La brújula, el magnetómetro y el giroscopio marcan el rumbo marcado por la parte delantera del dron.

El acelerómetro y el giroscopio proporcionan información sobre la actitud y el movimiento.

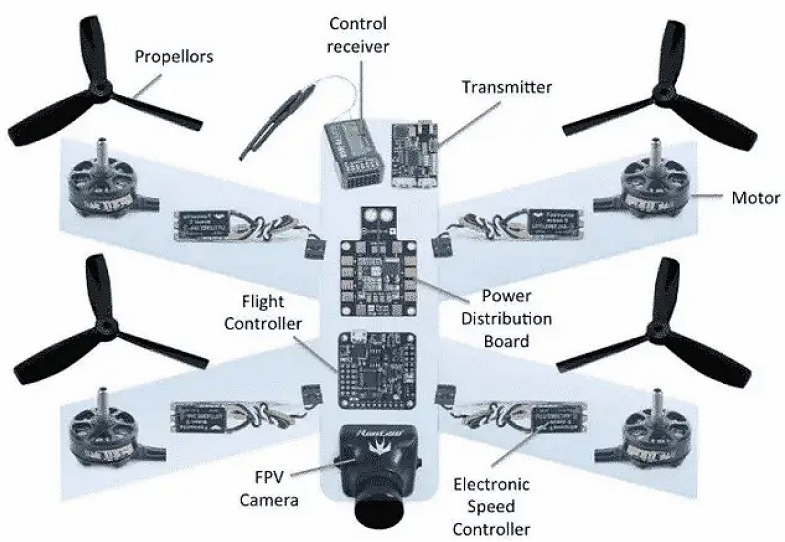
El barómetro proporciona información sobre los cambios de altitud.

Los sensores de proximidad indican cuando el dron se acerca a un obstáculo o al suelo.

3. Partes esenciales de un dron multirrotor

Estos son los componentes básicos: - Receptor de radio - Controladora de vuelo - Sensores - Transmisor de radio- Batería - Placa de potencia - ESC - Motores.

¿Cómo funciona? El receptor de radio recibe las órdenes de la emisora, y las hace llegar a la controladora de vuelo. Este módulo utiliza la información de todos los sensores para conocer su actitud, su velocidad, su inclinación, su posición, la detección de obstáculos y da órdenes a los ESC (variadores) para acelerar o frenar los motores, individualmente. El transmisor envía la información de vuelo a la emisora así como el video. La placa de distribucion de potencia la reparte para cada función, siendo la mayor parte a los ESC y, por tanto, a los motores.



Aquí no se representan todos los sensores que dan información al controlador de vuelo

Figura 11 Componentes electrónicos de los drones (IO.wp.com)

Otros sensores que dan información a la controladora de vuelo.

IMU (Unidad de Madición Inercial)I:

- Altímetro
- Magnetómetro
- Giroscopio
- Acelerómetro
- Termómetro

Independiente:

- GNSS
- Sensores de proximidad ultrasonido
- Detectores de proximidad visual (cámaras estereoscópicas)
- Detectores de proximidad infrarrojos (módulos)

3.1 Receptor

Este dispositivo está vinculado al control remoto mediante ondas electromagnéticas a una frecuencia específica. Las frecuencias y ondas electromagnéticas más utilizadas son 2,4 GHz y 5,8 GHz (el WIFI con codificación 802.11 xxx para discriminar comandos y drones):

- 2,4 GHz alcanza hasta 10 km (dependiendo de los obstáculos, potencia y sensibilidad),
- 5GHz es más corto para la misma potencia pero es menos perturbado y más rápido, mejor para la transmisión de video sin demoras. El receptor requiere una pequeña antena para garantizar que sea capaz de recibir la información en rangos potencialmente largos. Un simple teléfono inteligente puede manejar la transmisión a distancias cortas.

Desde 2022 (reglamento europeo 2022/179), es posible utilizar frecuencias de 5,17 a 5,25 GHz con una potencia de transmisión de 200 mW. Actualmente siendo implementado por los fabricantes.

Para todas las frecuencias, debido a la pérdida atmosférica, el RC más potente transmitirá más distancia, pero el alcance depende en gran medida de la sensibilidad del receptor: un receptor con una sensibilidad de 95 dB y una potencia de transmisión de 200 mW es lo mismo que uno con una sensibilidad de 90 dB y una potencia de transmisión de 800 mW. Para obtener un buen alcance, todo lo que necesita hacer es elegir un receptor con alta sensibilidad (> 95 dB).

Otras frecuencias como 1,3 GHz, 900 MHz o 433 MHz son interesantes para largas distancias y paso de obstáculos; cuanto más baja es la frecuencia, más largo es el alcance, pero con un mayor retraso en la transmisión de vídeo o una resolución más baja. Los históricos 27 MHz o 72 MHz utilizados para los modelos de aviones a escala ya no se utilizan para los drones debido a las perturbaciones y la longitud de la antena. Normalmente, cuanto menor sea la frecuencia, más larga será la antena necesaria.

Ej: Parrot Anafi: Wifi 2,4 y 5,8 GHz y 4 km de alcance, MAVIC 3E frecuencias ídem y 8 km de alcance, Autel EVO II 2,4GHz y 5 Km de alcance.

Algunos drones empiezan a utilizar las antenas 4G para conectar el dron, la frecuencia puede variar de 700MHz a 2.6MHz (dependiendo del país) y por supuesto, el alcance es extremadamente grande...

El receptor transmite todas las órdenes a la controladora de vuelo.

3.2 Controladora de vuelo

Es el **cerebro** del dron.

Es la parte electrónica que gestiona a través de los ESC el giro a los motores en función de las órdenes del piloto y de las condiciones aerodinámicas. Está en relación con los sensores (giroscopio,acelerómetro, brújula, altímetro, GPS, etc.) y permite la estabilidad del vuelo y la buena respuesta a los comandos.

Figura 12 controlador de vuelo - dronenodes.com

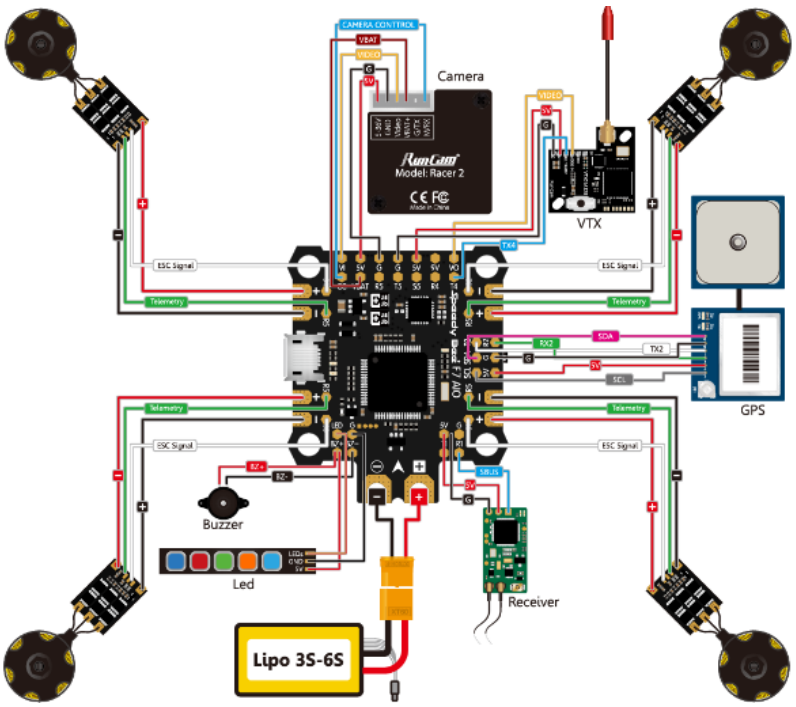


Figura 13 enlaces al controlador de vuelo - phaserfpv.com.au

3.3 IMU - Unidad de medición inercial

La mayoría de los sensores que ayudan a la controladora de vuelo y al piloto se concentran en la IMU.

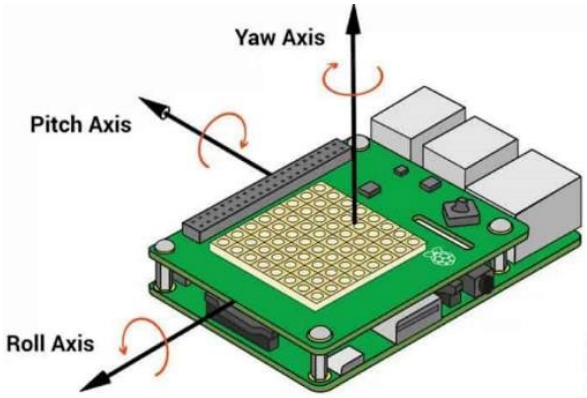


Figura 14 Arduino IMU (ddcountermeasures)

Figura 15 IMU del DJI Mavic 2 pro (drone-parts-center.com)

Altímetro barométrico: relativo al punto de despegue

Midiendo la variación de la presión atmosférica entre el punto de despegue y el de vuelo, el dron obtiene una estimación de su altura con una precisión de 25 cm. Se habla de altitud QFE (Query Field Elevation, utilizada por los aviones para calibrar el "metro cero" en la elevación de un aeródromo específico) y a veces por exceso de AGL (above ground level, término aeronáutico oficial), pero se supone que este último término se refiere al suelo directamente bajo el dron y no al punto de despegue.

No es capaz de conocer su altitud en relación con el nivel del mar (AMSL sobre el nivel medio del mar), a menos que se calibre en el momento del despegue para la QNH (altura náutica de consulta que varía durante el día).

Magnetómetro : dirección y actitud (brújula)

El magnetómetro reacciona al campo magnético terrestre para conocer la orientación del dron respecto al Norte magnético y también su "actitud": su inclinación con respecto a la horizontal.

Esto no es muy exacto, por lo que otro instrumento (el giroscopio) ayuda a aclarar esta información.

Calibración: el magnetómetro debe calibrarse de vez en cuando moviendo el aparato a lo largo de sus 3 ejes, a petición de la app.

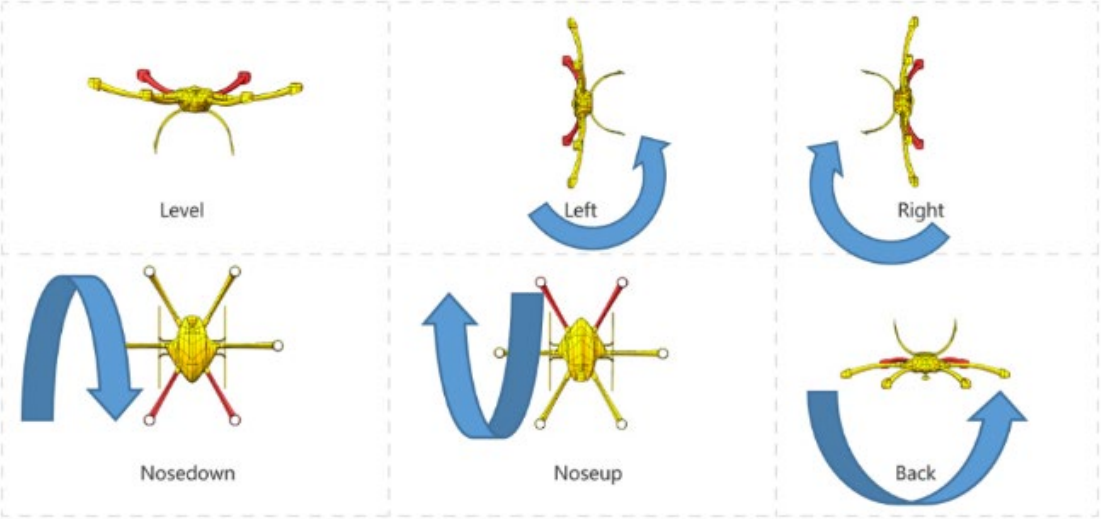


Figura 16 movimientos de calibración alrededor de cada eje - yangdaonline.com

Giroscopio : actitud

Antes giroscopios de masa giratoria, ahora circuitos en miniatura. El giroscopio permite conocer la variación de orientación de un dron en torno a su centro de gravedad.

Hay un giroscopio para cada eje: guiñada, cabeceo, balanceo; así, el aparato siempre sabe "cuánto" está girando, y en qué eje.

Calibración: el giroscopio debe calibrarse de vez en cuando moviendo el aparato a lo largo de sus 3 ejes, a petición del mando a distancia.

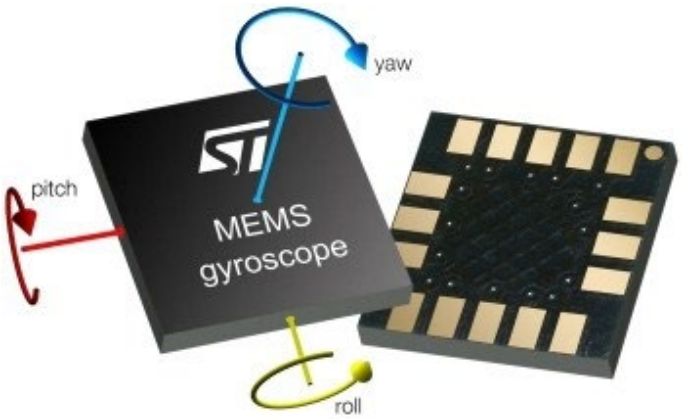


Figura 17 Giroscopio MEMS (STmicroelectronics)

Acelerómetro : cambio de velocidad en todas las direcciones

Mide el estado de aceleración del dron alrededor de sus 3 ejes e informa a la controladora de vuelo.

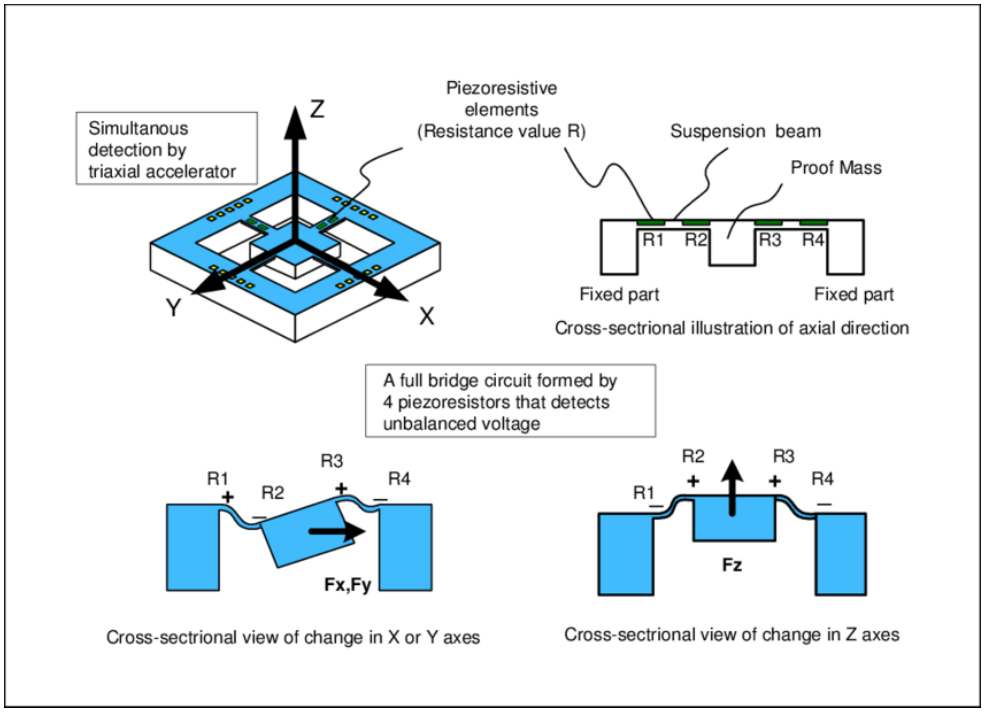


Figura 18 Principio del microacelerómetro (researchgate.net, publicación de Xuemin-chen)

Termómetro

Permite ajustar la sensibilidad de los sensores, la variación de velocidad del motor (el aire frío es más denso), la potencia de la batería y la altitud.

3.4 Sensores de proximidad ultrasónicos

Verticalmente bajo el dron: baja altitud respecto al suelo

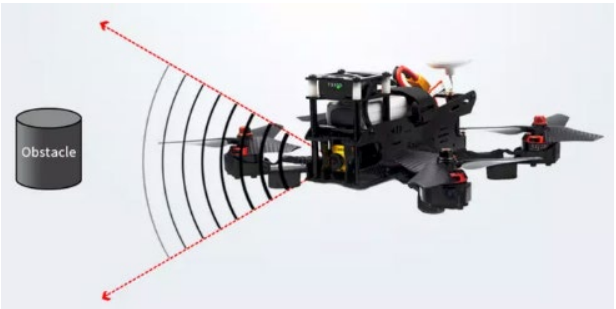
Debajo del aparato hay un emisor/receptor de ultrasonidos que indica al dron su distancia del suelo (o de un obstáculo situado debajo). Solo se utiliza a corta distancia, de 3 a 4 metros como máximo.

Figura 19 emisor y receptor ultrasónico - eye4i.ch

Horizontalmente en los laterales del dron

Los mismos dispositivos, pero para detectar los lados del dron y evitar colisiones en traslación o avance/retroceso.

No todos los drones están equipados con sensores laterales, pero sí todos los modelos "profesionales".



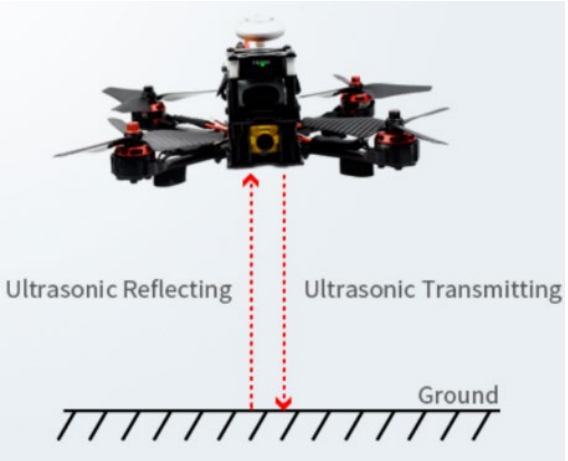


Figura 20 detección ultrasónica vertical y horizontal - microcontrolertips.com

3.5 Sensores de proximidad de imagen

Hay cámaras colocadas alrededor del dron para detectar objetos que se acercan. Este dispositivo reemplaza a los sensores ultrasónicos, siendo más discriminativo y por tanto más efectivo. Puede operar en el rango visible o infrarrojo.

Este dron tiene varios tipos de sensores de proximidad colocados alrededor.

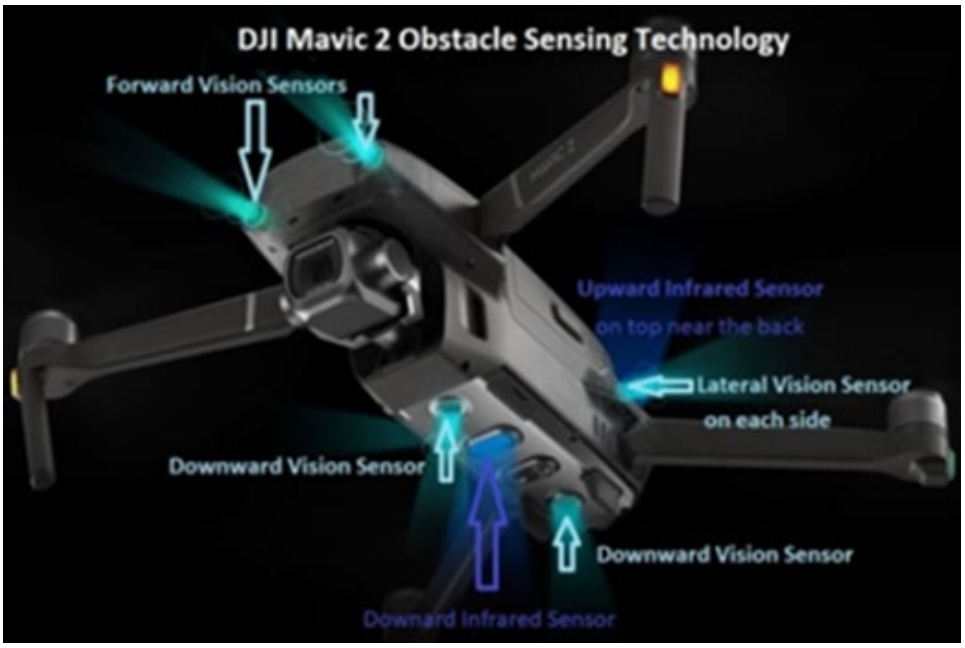


Figura 21 Sensores de proximidad en un dron (drone-festival.com)

3.6 GNSS sistema mundial de navegación por satélite ("GPS")

Mediante la recepción de señales de satélite (a 20.000 km de distancia), una calculadora obtiene la posición del dron en relación con el elipsoide WGS84 en longitud, latitud y altura elipsoidal (véase el módulo 6 geolocalización).

Por desgracia, el sistema en sí no es más preciso que unos pocos metros por lo que a escala de un dron podría no ser muy útil, auqnue siempre puede ser de ayuda.

Posicionamiento GNSS del dron: respecto al punto de despegue

Este módulo permite al dron conocer su posición espacial en la Tierra: latitud, longitud y altura elipsoidal.

En primer lugar, el dron debe permanecer quieto en el lugar de despegue durante unos minutos para obtener una posición correcta mediante el GNSS, normalmente llamado "GPS". La precisión aquí es métrica (unos 3 metros), pero cuando el dron está volando, la posición **relativa a este punto de despegue** es decimétrica, es decir, de 10 a 30 cm, lo que es major y a su vez esto permite al dron volver a la misma ubicación de manera precisa cuando se pulsa el botón "volver a casa".

Precisión mejorada: RTK, posicionamiento centimétrico.

Para conocer la posición de un dron con precisión centimétrica, debe estar equipado con un sistema cinemático en tiempo real (RTK) que requiere la recepción de datos por teléfono (tarjeta SIM o WIFI) y la suscripción a un servicio RTK (base de datos de corrección de posición en tiempo real). Esta configuración permite un mejor proceso fotogramétrico porque las posiciones de las fotos son más precisas. También obtenemos fotos geolocalizadas de forma directa y precisa para aplicaciones SIG.

Figura 222 Receptor GPS - Beitian corp.

3.7 Motores eléctricos y sus ESC

Los motores son sin escobillas (Brushless) (sin contactos giratorios): su rotación se produce por la alimentación secuencial de electro-imanes fijos, que atraerán a su vez a los imanes permanentes giratorios centrales. El motor girará a una velocidad que dependerá de la potencia de los imanes y de la velocidad de la secuencia. Controlar la alimentación de los imanes es una función crítica para que los motores funcionen correctamente. Esta función la realizan los ESC (Electronic Speed Controller), hay uno por motor.

- ➔ Como están abiertos para la refrigeración, proteja los motores del agua (aunque la mayoría de los drones resisten una lluvia suave), del polvo y, sobre todo, de la entrada de arena.

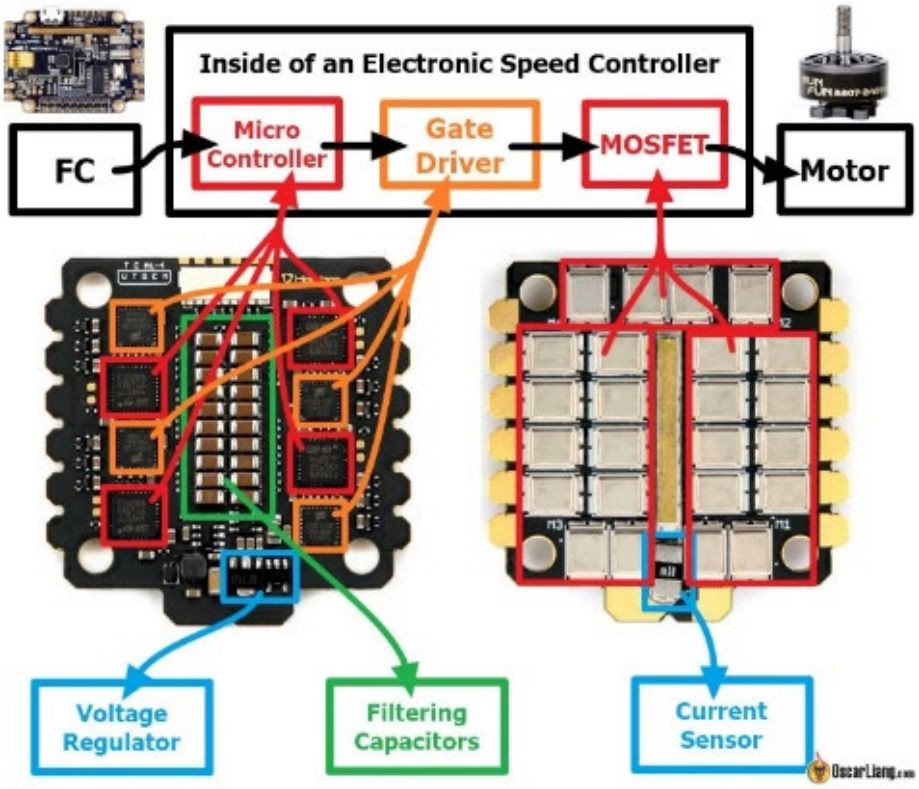


Figura 233 ESC - oscarliang.com

3.8 Hélices

Accionadas por el motor, aseguran la sustentación y los movimientos del dron. Sus características son su diámetro y su paso, dos cifras inscritas en la hélice con su sentido de rotación.

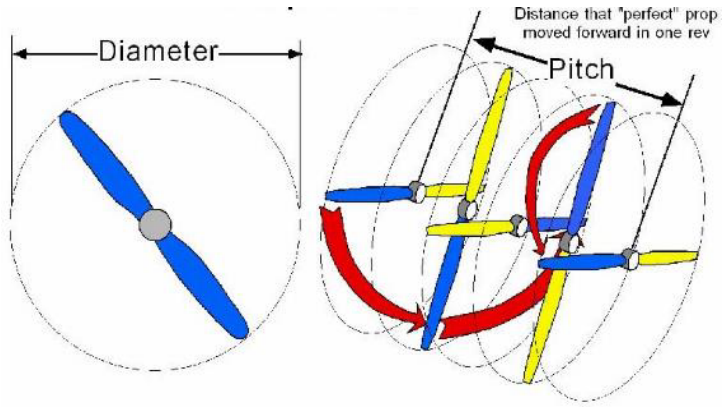


Figura 244 definición de hélice (bowersflybaby.com)

- ➔ Compruebe su buen estado: cualquier daño creará resistencia y necesitará más potencia para volar (por tanto, menos tiempo de vuelo) o inestabilidad.
- ➔ Compruebe su correcto montaje: no son intercambiables; cada hélice tiene su propio motor.

Figura 255 hélice -DJI

Las hélices habituales son plegables, fáciles de guardar y menos peligrosas en caso de contacto con un obstáculo o un ser humano. Su forma específica en la extremidad evita la resistencia (más eficiente) y el ruido (más aceptable para los que están alrededor).

De hecho, los motores no giran todos en el mismo sentido (véase más arriba), conviene prestar atención al buen emparejamiento de la hélice y la posición del motor.

3.9 Unidad de potencia (cuadro de distribución de potencia)

La unidad de potencia envía energía eléctrica a los diferentes componentes, garantiza que se distribuya la tensión y el amperaje correctos, según las necesidades y la capacidad de cada componente. Garantiza un control sobre la batería e informa a la controladora de vuelo de su estado.

Figura 266 placa de distribución de energía para drones - hobbyking.com

3.10 Baterías

Suelen ser baterías de polímero de litio; proporcionan corriente eléctrica continua. Su voltaje varía según la marca.

La energía disponible de una batería se mide en Ah (amperios-hora): cuanto mayor es este número, más electricidad puede suministrar la batería. Una batería de 10 Ah puede suministrar una corriente de 10 A durante 1 hora, o de 1 A durante 10 horas antes de quedarse "vacía".

También se puede expresar en Wh (vatio-hora), es decir, en potencia entregable durante una hora. Es lo mismo que P=U.I, así que si conocemos I (en Ah) y U (en Voltios) tenemos los Wh.

Ejemplo: una batería de 2700 Ah a 7,6 V proporciona 2,7 x 7,6 = 20,52 Wh.

La duración del funcionamiento depende de la corriente que consuma el dron: si consume 1A con una batería de 5Ah entonces podremos volar 5 horas.

Pero nunca debe vaciar completamente las baterías, esto reduce gradualmente su capacidad de carga.

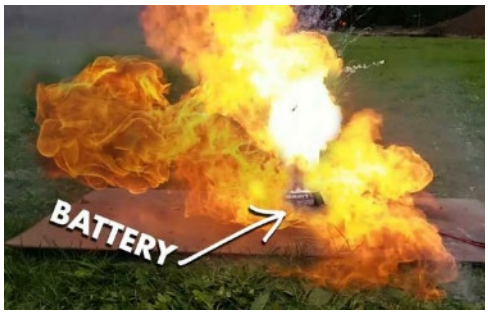
En realidad, los drones actuales pueden volar entre 20 y 45 minutos. Ejemplo del Parrot Anafi: la batería es de 2700mAh (2,7Ah) a 7,6V, y vuela 15 minutos (de media) antes de descargarse al 20%.

Entonces: 2700 x 0,8 = 2160 Ah consumidos en 15' =15/60= 0,25 hora

- el dron consume 2,16/0,25 = 8,64 A, lo que es enorme.
- Pero como la tensión es sólo de 7,6 V, sólo produce una potencia de 7,6 x 8,64 = 65,7 W (recordemos que P = U.I en corriente continua).

Sensibilidad de las pilas :

- a una carga incorrecta: no hay posibilidad de superar la capacidad de descarga ya que una batería tiene una corriente máxima que puede recibir, más allá de eso se deteriora e incluso puede incendiarse. UTILICE SÓLO EL CARGADOR DEL FABRICANTE
- calor: no almacenar detrás de un cristal a la luz directa del sol, riesgo de incendio
- choques : las capas de material pueden dañarse y crear una reacción química incendiaria
- Carga rápida: evítela en la medida de lo posible, utilice la carga "lenta" o normal cuando no haya ninguna emergencia y NO LO DEJE CONECTADO DURANTE TODA LA NOCHE EN CARGADORES DISTINTOS A LOS DEL FABRICANTE - RIESGO DE INCENDIO -.
- En caso de almacenamiento prolongado: almacenar a media carga, recargar de vez en cuando las pilas a media carga.



Baterías sobrecargadas
O
almacenado durante más de 3 días
Totalmente cargado
O
Baterías dañadas
Puede provocar un incendio.

Figura 277 batería incendiada por almacenamiento a plena carga - swellpro-uk.co.uk

Figura 288 adhesivo de advertencia - fromkristies.blogspot.com

La mayoría de las baterías tienen un sistema de seguridad de autodescarga: cuando están completamente cargadas y no se utilizan durante más de 3 días, un sistema interno reduce la carga a ½ carga; por lo tanto, antes de poner en funcionamiento el dron, cargue las baterías para que vuelvan a estar a plena capacidad.

Figura 299 la batería a 1/2 carga es buena para el almacenamiento - generation-nt.com

Cuando utilices el dron, procura no bajar del 20% de capacidad, ya que esto envejece prematuramente las baterías, compruébalo en la pantalla del mando a distancia, pon un aviso en los parámetros.

Aquí también es posible ajustar el número de días antes de la autodescarga automática

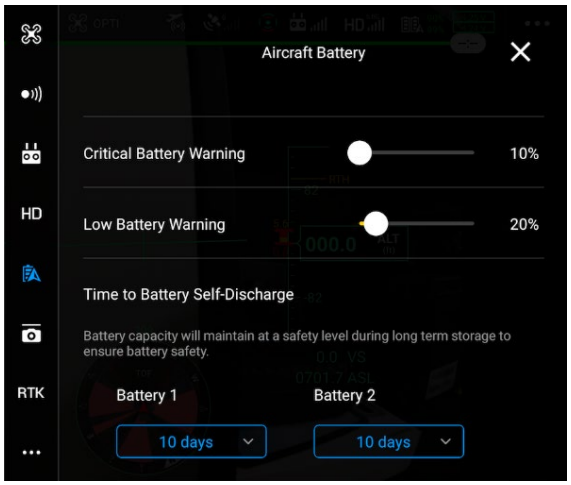


Figura 300 ajustes de alerta de batería - DJI

Análisis y configuración de las celdas: siempre se debe comprobar la tensión de las celdas que componen la batería (si la emisora (RC) puede indicarlo, en caso contrario la comprobación es automática). Importante recorder que no debe haber diferencia superior a 0,1V entre las celdas, lo que indicaría una falla. Si este es el caso, cambie y deseche la batería defectuosa en una bolsa ignífuga, ya que existe riesgo de que se incendie. Los porcentajes de advertencia de batería baja se pueden ajustar.

Se recomienda:

- 25 % para un aviso simple, 10 % para un aviso de aterrizaje inmediato.

El regreso a casa (RTH) también se puede configurar en automático con un 20% de batería, por ejemplo.

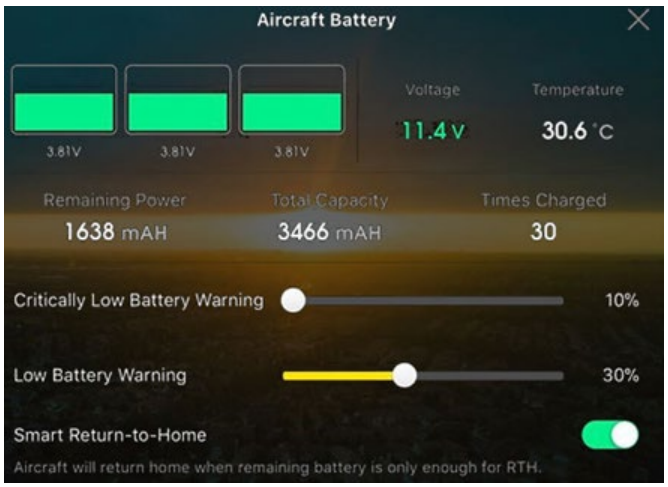


Figura 311 Niveles y configuraciones de las celdas de la batería (voltios)

4. Emisora

4.1 Transmisión

- Permite al piloto controlar la trayectoria del dron. El enlace se realiza mediante protocolos de comunicación en rangos de frecuencia definidos y autorizados.
- Generalmente, la información de control de trayectoria se transmite en la frecuencia de 2,4 GHz. Esta frecuencia es común con las utilizadas para Wi-Fi. Por eso pueden producirse interferencias entre el mando a distancia y el dron cuando se vuela en zonas urbanas y/o pobladas.
- Cuando el dron está equipado con cámaras, el retorno de vídeo se transmite en otra frecuencia, normalmente 5,8 GHz. Esta frecuencia más alta permite una mayor velocidad de transmisión de datos (necesaria para transmitir imágenes), a pesar de un menor alcance en comparación con la frecuencia de 2,4 GHz.
- Otras frecuencias son 1,3GHz, 900MHz o 433MHz. Las históricas 27MHz o 72MHz utilizadas para aviones de aeromodelismo ya no se utilizan para drones debido a las perturbaciones y a la longitud de la antena. Cuanto más baja sea la frecuencia, más larga será la antena.
- Para todas las frecuencias, debido a la pérdida atmosférica, la más potente transmitirá más lejos, consulte las especificaciones de su dron.
- Algunos drones con fines estrictamente profesionales pueden utilizar la red telefónica (4G) para la transmisión, por lo que su alcance es extremadamente amplio.
- Durante el vuelo, el piloto remoto debe verificar que la señal es lo suficientemente fuerte y que el dron está dentro del alcance de recepción para mantener el control. La intensidad y la calidad de la señal suelen indicarse en la pantalla del control remoto.

4.2 Control

Modos de control

Es posible ajustar el regulador en distintas configuraciones:

El modo 1 es el usado habitualmente por los pilotos de drones de ala fija.

El modo 2 es el habitual de los multirrotores en Europa. Joystick izquierdo para arriba/abajo y rotación, joystick derecho para avance/retroceso y traslación izquierda/derecha.

Modo 3 se suele usarse en USA. Modo 4 pueden utilizarse en situaciones especiales.

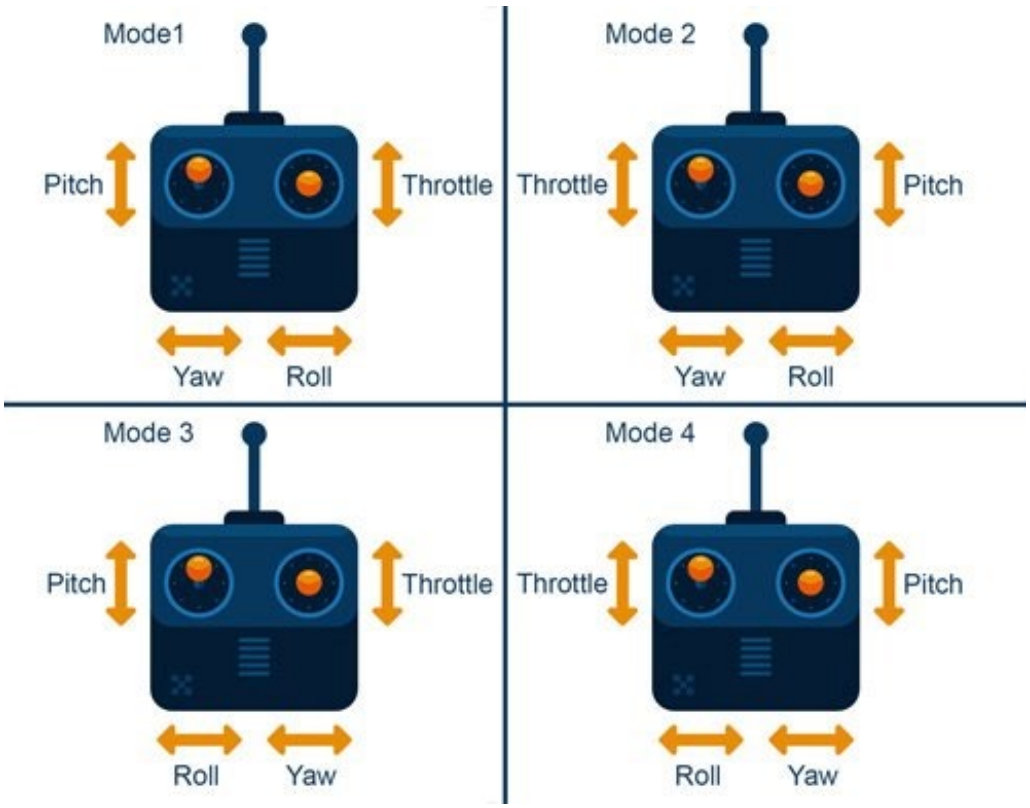


Figura 322 modos de control (gitplanet.com)

MODE 2 movimientos en detalle

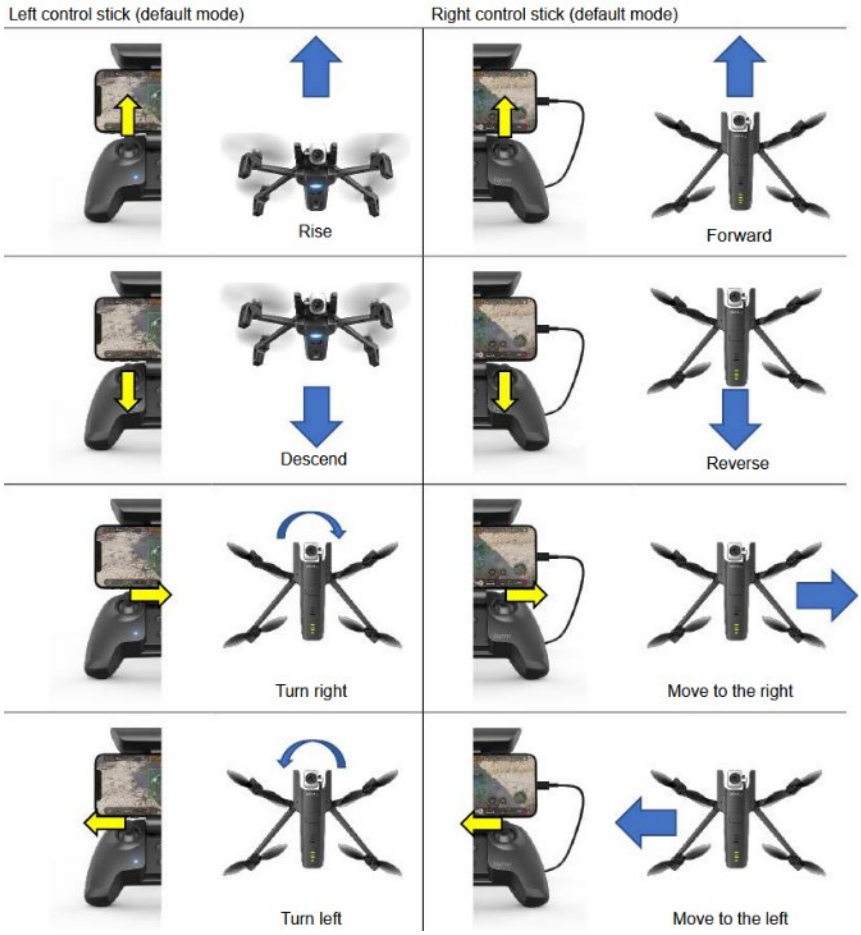


Figura 333 Control del dron en Modo 2 (manual del Parrot Anafi)

Diferentes tipos de controladores de drones

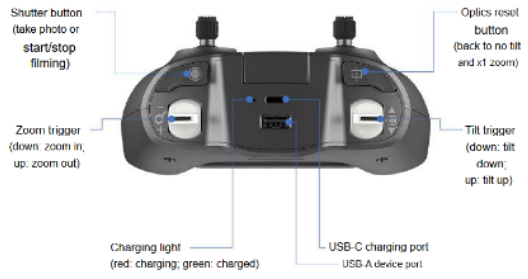


Figura 344 Parte trasera de emisorar Parrot Anafi (Parrot)

Figura 355 Emisora Mobilicom táctico (Mobilicom)

Figura 366 Emisora inteligente DJI (DJI)

Dependiendo del fabricante (y del precio), la pantalla puede ser parte de la emisora, o un smartphone/tablet externo a la emisora y enlazados por un cable, WIFI,etc.

Figura 377 Controlador de cinematógrafo profesional GCS (pinterest.fr)

4.3 Parámetros en la pantalla

Ejemplo de la Anafi

Figura 388 Pantalla emisora Anafi (Parrot)

Arriba, la pantalla de Anafi está dividida en 4 partes alrededor de la vista central de la cámara (que puede sustituirse por el mapa, que se ve dentro del pequeño círculo lateral).

Información de vuelo del dron: Velocidad // altitud // distancia desde el punto de despegue	**Baterías e información del GPS:** Nivel de batería y GPS ok en el mando // nivel de batería en el drone y GPS ok
Cámara inclinación Vista de la cámara (o mapa) Zoom Valor (círculo: mapa o vista de cámara)	
Tipo de modo de vuelo: Modo de respuesta general // manual o automático // selección de "cineshots" : (sígueme, gira alrededor de un punto, mantén un punto centrado mientras te mueves...)	Funcionamiento de la cámara: Grabación de fotos o vídeo // velocidad de obturación, apertura, ajuste de luminosidad, compresión de archivos // número posible de fotos o minutos de vídeo en la memoria // disparador de fotos o vídeo

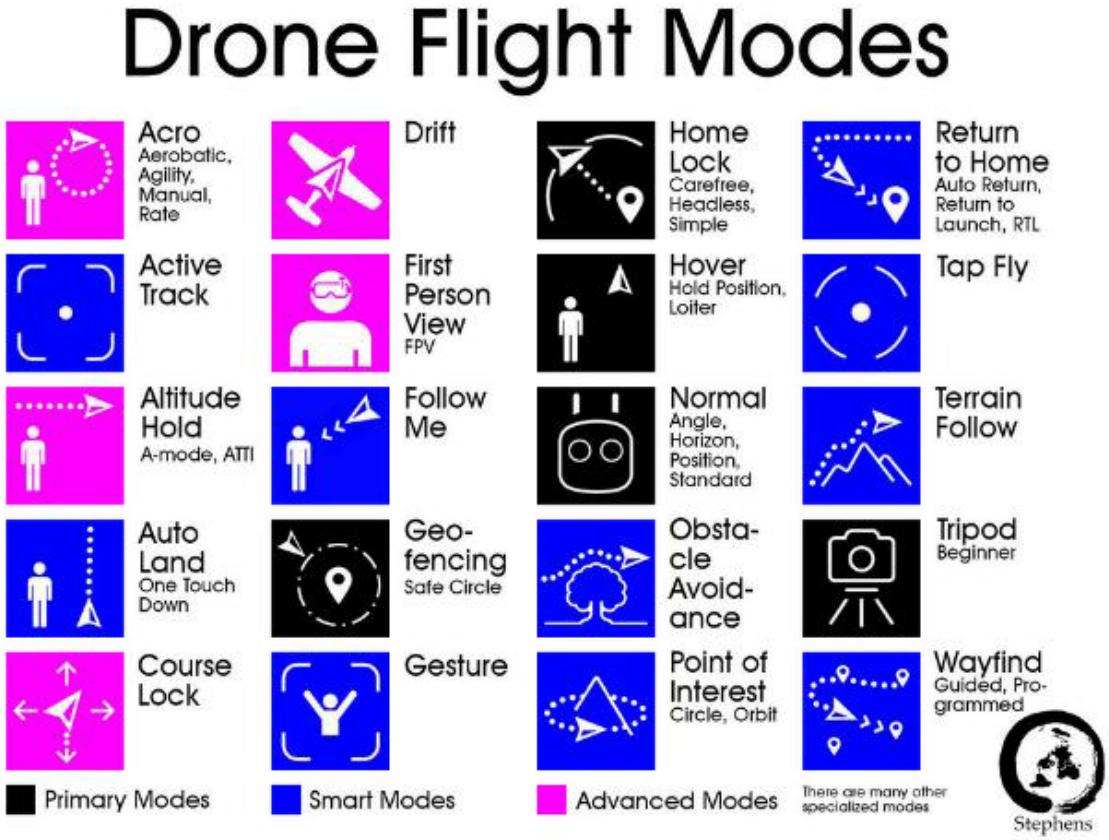


Figura 399 ejemplo de modos de vuelo (Stephens - Flickr.com)

5. Mantenimiento

5.1 Registros de mantenimiento

El fabricante de un UAS o, en su caso, el titular de su certificado de tipo deberá preparar y desarrollar un manual o conjunto de manuales que describan su mantenimiento e inspección. Estos manuales deben incluir directrices para llevar a cabo las tareas de inspección, mantenimiento y reparación necesarias en los niveles adecuados y específicos de la aeronave y sus sistemas asociados.

El operador es responsable del mantenimiento y conservación de la aeronavegabilidad, y debe poder demostrar en todo momento que el UAS y sus sistemas asociados mantienen las condiciones de aeronavegabilidad con las que fueron fabricados. Además, el operador deberá cumplir cualquier requisito de mantenimiento de la aeronavegabilidad declarado obligatorio por el fabricante y/o AESA.

A estos efectos, el operador deberá establecer un sistema de registro de datos relativos a:

- Los vuelos realizados y el tiempo de vuelo.
- Las deficiencias se produjeron antes y durante los vuelos, para su análisis y resolución.
- Hechos relevantes relacionados con la seguridad.
- Inspecciones y acciones de mantenimiento y sustitución de piezas realizadas.

En cualquier caso, el mantenimiento y las reparaciones que procedan deberán realizarse siguiendo las directrices del fabricante o, en su caso, del titular del certificado de tipo RPA.

5.2 Contenido del programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento del UAS especificará los detalles de todas las tareas de mantenimiento que deben llevarse a cabo basándose en su manual de mantenimiento suministrado por el fabricante, incluida su frecuencia y cualquier tarea específica relacionada con el tipo y la especificidad de las operaciones.

Debe definir los tipos de revisiones aplicables al UAS, así como con qué periodicidad se realizan, ya sea por operación, horas, calendario, ciclos de vuelo (despegue/aterrizaje), o una combinación de ellos. Además, el operador deberá cumplir con cualquier requisito de mantenimiento de aeronavegabilidad declarado obligatorio por AESA/EASA.

Se entiende por aeronavegabilidad continuada el conjunto de procesos que garantizan que el UAS cumple los requisitos de aeronavegabilidad vigentes en cada momento de su vida operativa y que, por tanto, está en condiciones de realizar una operación segura. Deben tenerse en cuenta otros requisitos, como la seguridad física.

El programa debe incluir la lista de herramientas que se utilizarán, así como la periodicidad de la calibración de aquellas que lo requieran.

5.3 Primera comprobación tras el montaje

Una vez montado el UAS y antes de su primer vuelo, se llevará a cabo una revisión completa, que incluirá una verificación de la estructura en general, de la configuración y de la operabilidad del sistema:

Revisión de todos los elementos

Estructura, carcasa, equipos y sistemas, motores, ESCs, distribuidor de potencia, hélices/rotores, transmisiones, conectores eléctricos, cableado, tornillería general, luces, pintura, sistemas de emergencia, fijación de placas de identificación, rotores, varillas, plato oscilante, portapalas, ejes, estabilizadores, piñones, coronas, bolsa de gas, góndolas, tuberías, filtros, depósitos... (especificando cada elemento para el tipo de aeronave).

Prueba funcional en tierra

- Calibración y verificación de los sensores y equipos necesarios para llevar a cabo las operaciones previstas (calibración de los mandos y sticks de la emisora, enlace del receptor y canales correctos, calibración del ESC, numeración y sentido de giro correctos de los motores eléctricos, posicionamiento correcto de las hélices, equilibrado correcto de las hélices).
- Calibración y verificación de los sensores y equipos necesarios para llevar a cabo las operaciones previstas (calibración de los mandos y palancas de la emisora, enlace del receptor y canales correctos, calibración del ESC, numeración y sentido de giro correctos de los motores eléctricos, posicionamiento correcto de las hélices, equilibrado correcto de las hélices).
- Compruebe su operatividad (incluidos los controles de vuelo a una distancia mínima de 30 m de la aeronave).
- Instalación de la versión de software adecuada y verificación de su funcionamiento.
- Ejecutar las pruebas funcionales definidas por el fabricante, si procede.
- Funcionamiento de los equipos de comunicación-enlace de datos, funcionamiento de los equipos de transmisión de vídeo. Intensidad y calidad de la señal.
- Comprobación del correcto funcionamiento del equipo de navegación (piloto automático y estabilizador) y de los sensores de a bordo (GPS, IMU, barómetro, giroscopio, magnetómetro, tubo pitot). Configuración y calibración.
- Compruebe el correcto ajuste y funcionamiento de la carga útil.

Prueba de vuelo funcional

- Comprobar su operatividad. (Comprobar el correcto funcionamiento de la aeronave en sus diferentes modos de vuelo y probar todas las funcionalidades avanzadas, sistemas de terminación de vuelo seguro, sistemas de emergencia, transpondedor, detectar y evitar).
- Funcionamiento de los equipos de comunicación, navegación y transmisión de vídeo (si procede).

Batería

Para un mantenimiento correcto y seguro, siga las siguientes instrucciones:

- Utilice únicamente cargadores específicos para baterías de polímero de litio (LIPO) para una carga segura y eficaz. La mayoría de las baterías LiPo deben cargarse a un máximo de 4,2 voltios por celda. En caso de uso indebido o carga deficiente de la batería LIPO, podría provocar un incendio, lesiones o daños a personas u objetos.
- Debe vigilar la batería en todo momento durante el proceso de carga.
- No cargue las baterías cerca de materiales inflamables o conductores de electricidad. Para mayor precaución, utilice bolsas especiales ignífugas para introducir la LiPo para su carga.
- No cargue nunca una batería hinchada, agrandada, dañada o estropeada.
- Nunca sobrecargue la batería, una vez finalizado el proceso de carga, desconecte la batería del cargador.
- Desenchufe el cargador de baterías cuando no lo utilice.
- Guarde las pilas en un recipiente metálico o cerámico o en bolsas ignífugas especialmente preparadas para ello. Guarde siempre la pila a temperatura ambiente, no se recomiendan temperaturas extremas. Almacene las baterías en lugares con temperaturas entre 4 y 27 grados para mantenerlas en perfecto estado. Durante el transporte de las baterías, la temperatura debe mantenerse siempre entre -5° y 66°C.
- Guarde siempre las pilas lejos del fuego u otras fuentes de calor. No exponga las pilas a la luz solar directa durante largos periodos de tiempo.
- Guarde siempre las baterías con una carga parcial (30%) si no se van a utilizar durante algún tiempo. No las guarde totalmente descargadas. Las baterías pierden aproximadamente un 5% al mes cuando se almacenan en buenas condiciones.
- No guarde las pilas dañadas en bolsas de plástico.
- Después de usar las pilas, espera unos 25 minutos a que se enfríen para recargarlas con seguridad.
- Asegúrese de que las conexiones se han realizado correctamente. Una colocación invirtiendo la polaridad puede causar riesgo de daños, incendio e incluso explosión.

- No cortocircuite nunca la batería, ni la corte o rompa.
- Compruebe la batería después de un impacto. En caso de que tengas que desecharla, recuerda cumplir las disposiciones legales vigentes en materia de eliminación de residuos.
- No introduzca ni extraiga nunca la batería con el vehículo en marcha.
- Desconecte la batería inmediatamente si detecta un olor extraño, ruido o humo.
- En caso de incendio, no intente apagar las llamas con agua. Utilice un extintor.
- Deje siempre la batería desconectada de la aeronave cuando no la utilice.
- Nunca descargue completamente la batería, el voltaje de cada elemento nunca debe caer por debajo de 3 voltios, si cae por debajo de ese límite, dañará irreparablemente la batería. Se recomienda no descargar la batería por debajo del 12-18% de su capacidad total o de una tensión de 3,4 voltios para cada uno de los elementos que la componen.
- En cualquier caso, siga siempre las recomendaciones del fabricante.

5.4 Revisiones periódicas.

Definido por el fabricante y/o en el manual del operador:

- **Documentación:** Datos del Operador, Técnico de Mantenimiento, manuales de mantenimiento del fabricante. Fecha de la última revisión, tipo, modelo y matrícula de la aeronave.
- **Estructura de la aeronave:** Comprobación de golpes, grietas o desajustes en el chasis, fuselaje, superficies estabilizadoras, tren de aterrizaje, brazos, carenado, antenas, superficies móviles (aviones), envoltura y carga de gas (dirigibles), centro de gravedad. Fijación de los tornillos con cola antivibraciones. Sustitución de servos en caso necesario. Placa de identificación (correcta conservación y fijación).
- **Rotores:** Revisión de limpieza, golpes, grietas o desalineaciones en el sistema de transmisión de potencia, superficies móviles y estabilización del plato cíclico, plato colectivo y bielas (helicópteros), portapalas, eje de transmisión, estabilizador, tornillos, piñón, corona, etc...
- **Motores (eléctricos):** Limpieza general, cubos de las palas, fijación a los brazos, ausencia de olores extraños. Sustitución de rodamientos si procede, limpieza/sustitución de cojinetes, lubricación de piezas móviles, sustitución de circlips y silentblocks desgastados, sustitución de variadores sobrecalentados.
- **Motores (Combustión):** Limpieza general, bujes de las palas, montaje del motor a la base, comprobar suministro de combustible, refrigeración, lubricación, encendido, comprobación de impurezas en el depósito de combustible. Limpieza de depósitos de fluidos, tubos, bujías y sistema de encendido, comprobar soporte del motor y tornillería. Cambiar los filtros de combustible y aire.
- **Hélices o Palas:** Ajuste de las mismas y sentido de giro, estado físico (Limpias, sin erosiones ni desgastes), correctamente equilibradas.
- **Energía:**
    - Baterías de avión: comprobación visual, sin golpes, hinchadas o perforadas. Verificar el equilibrio de las celdas con un comprobador. Medir el nivel de carga antes y después del vuelo. Estado de los cables y conectores (ausencia de carbonilla). Sujeción de la batería.
    - Baterías del transmisor: comprobación visual, sin golpes, hinchadas o perforadas. Compruebe el equilibrio de las pilas con un comprobador. Medir el nivel de carga antes y después del vuelo. Estado de los cables y conectores (ausencia de carbonilla).
    - Baterías de la pantalla FPV: comprobación visual, sin golpes, ni hinchadas, ni perforadas. Verificar el equilibrio de las celdas con un comprobador. Medir el nivel de carga antes y después del vuelo. Estado de cables y conectores (ausencia de carbonilla).
    - Baterías de carga de pago: comprobación visual, sin golpes, hinchazones ni perforaciones. Verificar el equilibrio de las celdas con un comprobador. Medir

el nivel de carga antes y después del vuelo. Estado de cables y conectores (ausencia de carbonilla). Sujeción de las baterías.

- **Cableado general:** Cables del estado, sin roturas ni desgastes, conectores en buen estado.
- **Luces LED y/o pintura:** Luces de posición/navegación y código no fundidas. Conservación correcta de la pintura.
- **Carga útil:** Fijación y movimientos correctos del cardán, (en caso de carga útil giroestabilizada) y fijación correcta en caso de otro tipo de carga útil.
- **Posicionamiento y calibración de GPS y brújula:** GPS ajustado y memorizado, brújula calibrada.
- **Emisora-Estación de tierra:** Posición correcta de los interruptores (Altitud, GPS, Fails Safe, etc.), sticks en posición 0, movimientos libres de los sticks, antenas correctamente fijadas, correas de sujeción y arnés en buen estado, selección de aeronave en la pantalla, activación del temporizador, nivel de batería.
- **Pantalla FPV:** Información correcta y transmisión IOSD, imagen FPV, intensidad de la señal, número de satélites, visores antideslumbrantes correctamente ajustados.
- **Actualización de Software:** Verificar la versión implementada y su correcto funcionamiento.
- **Comprobación de la potencia y la calidad de la señal.**
- **Prueba funcional:** Encendido de la aeronave, comprobación de las luces y sonidos de diagnóstico, arranque del motor, verificación del giro correcto y de la velocidad de todos, ausencia de vibraciones, despegue estacionario a 2 metros del suelo, cabeceo suave hacia delante y hacia atrás, viraje a la derecha y a la izquierda, guiñada a la derecha y a la izquierda. En aviones, comprobar en tierra el correcto movimiento de las superficies de mando móviles (alerones, elevador y timón, flaps, asegurarse de que los mandos no están invertidos).
- **Repita la prueba funcional en tierra**
- **Repetir la prueba de vuelo**

5.5 Otras reseñas

Fuera del mantenimiento básico programado, puede haber revisiones extraordinarias, como en el caso de la detección de anomalías durante el funcionamiento de la aeronave, la aplicación de modificaciones a la aeronave, la necesidad de aplicar trabajos de reparación o sustitución de piezas.

El programa de mantenimiento identificará cualquier tarea de mantenimiento adicional que deba realizarse según el tipo específico de aeronave, la configuración de la aeronave y el tipo y especificidad de la operación.

Por ejemplo :

- Revisiones de componentes con una vida útil limitada y componentes fundamentales para la seguridad de vuelo.
- Tras el periodo establecido por sus fabricantes, en su caso: motor, hélices, sistema de control (comunicaciones/navegación).
- Boletines emitidos por el fabricante.
- Aplicación de las modificaciones del fabricante.
- Reparaciones.
- Revisiones incluidas en los manuales de mantenimiento de los componentes específicos que integran el UAS.
- Directivas de aeronavegabilidad para RPAS que dispongan de Certificado de Tipo, emitido o aceptado por AESA.
- Autorizaciones operativas especiales.

6. Ejemplo de registro de mantenimiento uas

REGISTRO DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO DEL UAS [Tipo, fabricante, modelo y número de serie] DEL OPERADOR XXXXXXX							
FECHA DE REALIZACIÓN	LUGAR DE REALIZACIÓN	CLASE (INSPECCIÓN, REVISIÓN, REPARACIÓN)	HORAS TOTALES DE LA AERONAVE	TAREAS COMPLETADAS (Si se trata de una reparación, indique el diagnóstico y la acción correctora)	OBSERVACIONES	DATOS de la persona que realiza el mantenimiento (nombre, organización, etc.)	FIRMA de la persona que realiza el mantenimiento

REGISTRO DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO DEL UAS [Tipo, fabricante, modelo y número de serie] DEL OPERADOR XXXXXXX					
FECHA DE REALIZACIÓN	LUGAR DE REALIZACIÓN	DETALLE DE LAS MODIFICACIONES Y SU REFERENCIA DE FABRICANTE (Modificaciones que varían el rendimiento de la aeronave)	OBSERVACIONES	DATOS de la persona que realiza el mantenimiento (nombre, organización, etc.)	FIRMA de la persona responsable de la modificación

Tabla 1 libro de mantenimiento

Lista de cifras

Figura 1 sustentación del ala - (flight-mechanic.com-modificado) 7
Figura 2 Puesto (researchgate.net/profile/Mariateresa-Sestit) 7
Figura 3 Resistenca aerodinámica (cyclingdynamics.com) 8
Figura 4 Arrastre de un perfil 8
Figura 5 las 4 fuerzas que intervienen en el vuelo 9
Figura 6 Dron de ala fija "Disco" (technique-ingenieur.fr) 9
Figura 7 elevación y propulsión de la hélice-(firediy.fr) 9
Figura 8 un helicóptero se inclina hacia delante para volar-(aircraftsytemstech.com) 10
Figura 9 Acciones de las hélices para dirigir un dron multirrotor (i.pinimg.com) 11
Figura 10 Nombres de ejes de drones (y aviones) (parrot.fr) 12
Figura 11 Componentes electrónicos de los drones (IO.wp.com) 14
Figura 12 controlador de vuelo - dronenodes.com 16
Figura 13 enlaces al controlador de vuelo - phaserfpv.com.au 16
Figura 14 Arduino IMU (ddcountermeasures) 17
Figura 15 IMU del DJI Mavic 2 pro (drone-parts-center.com) 17
Figura 16 movimientos de calibración alrededor de cada eje - yangdaonline.com 18
Figura 17 Giroscopio MEMS (STmicroelectronics) 18
Figura 18 Principio del microacelerómetro (researchgate.net, publicación de Xuemin-chen) 19
Figura 19 emisor y receptor ultrasónico - eye4i.ch 20
Figura 20 detección ultrasónica vertical y horizontal - microcontrolertips.com 20
Figura 21 Sensores de proximidad en un dron (drone-festival.com) 21
Figura 22 Receptor GPS - Beitian corp. 22
Figura 23 ESC - oscarliang.com 23
Figura 24 definición de hélice (bowersflybaby.com) 24
Figura 25 hélice -DJI 24
Figura 26 placa de distribución de energía para drones - hobbyking.com 25
Figura 27 batería incendiada por almacenamiento a plena carga - swellpro-uk.co.uk 27
Figura 28 adhesivo de advertencia - fromkristies.blogspot.com 27
Figura 29 la batería a 1/2 carga es buena para el almacenamiento - generation-nt.com 27

Figura 30 ajustes de alerta de batería - DJI 28
Figura 31 Niveles y configuraciones de las celdas de la batería (voltios) 28
Figura 32 modos de control (gitplanet.com) 30
Figura 33 Control del dron en Modo 2 (manual del Parrot Anafi) 31
Figura 34 Parte trasera de emisorar Parrot Anafi (Parrot) 32
Figura 35 Emisora Mobilicom táctico (Mobilicom) 32
Figura 36 Emisora inteligente DJI (DJI) 32
Figura 37 Controlador de cinematógrafo profesional GCS (pinterest.fr) 32
Figura 38 Pantalla emisora Anafi (Parrot) 33
Figura 39 ejemplo de modos de vuelo (Stephens - Flickr.com) 34

Lista de cuadros

Tabla 1 libro de mantenimiento 43