

# Trabajo fin de grado

Sensor de viento en Dron



Daniel Serena Sanz

Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid  
C\Francisco Tomás y Valiente nº 11



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**Grado en Ingeniería de Textos**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Sensor de viento en Dron**

**Si hace falta subtítulo**

**Autor: Daniel Serena Sanz**  
**Tutor: Daniel Serena Sanz**

**junio 2019**

**Todos los derechos reservados.**

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización de los titulares de la propiedad intelectual.

La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (*arts. 270 y sgts. del Código Penal*).

DERECHOS RESERVADOS

© 3 de Noviembre de 2017 por UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID  
Francisco Tomás y Valiente, nº 1  
Madrid, 28049  
Spain

**Daniel Serena Sanz**  
*Sensor de viento en Dron*

**Daniel Serena Sanz**  
C\ Francisco Tomás y Valiente N° 11

*A mi mujer y a mis hijos*

*Lo peor es cuando has terminado un capítulo  
y la máquina de escribir no aplaude.*

*Orson Welles*



# AGRADECIMIENTOS

---

En primer lugar me gustaría agradecer a la Escuela Politécnica Superior por su apoyo para la creación de esta clase y que sea el formato básico para la creación de tesis, trabajos fin de grado y trabajos fin de master.

En particular quiero destacar el trabajo realizado por Fernando López-Colino por su apoyo en la comisión de imagen institucional y por sus comentarios para mejorar este estilo.

También quiero tener un recuerdo para Carmen Navarrete Navarrete dado que este estilo comencé a crearlo a partir de sus necesidades a la hora de escribir la tesis. Y por supuesto a no quiero olvidarme de mi esposa e hijos que han servido de conejillos de indias en sis correspondientes trabajos fin de master y de grado. No quiero olvidar a todos los estudiantes que me pidieron este estilo y lo han usado para presentar sus trabajos pero son muchos y podría olvidarme de alguno, por tanto, mi agradecimiento en general a todos ellos.



# RESUMEN

---

En nuestra Escuela se producen un número considerable de documentos, tanto docentes como investigadores. Nuestros alumnos también contribuyen a esta producción a través de sus trabajos de fin de grado, máster y tesis. El objetivo de este material es facilitar la edición de todos estos documentos y a la vez fomentar nuestra imagen corporativa, facilitando la visibilidad y el reconocimiento de nuestro Centro.

En este sentido se ha intentado diseñar un estilo de  $\text{\LaTeX} 2_{\varepsilon}$  que mantenga una imagen corporativa y con comandos simples que permitan mantener la imagen corporativa con la calidad necesaria sin olvidar las necesidades del autor. Para ello se han creado un conjunto de comandos simples en torno a paquetes complejos. Estos comandos permiten realizar la mayoría de las operaciones que un documento de este tipo pueda necesitar.

Así mismo se puede controlar un poco el diseño del documento a través de las opciones del estilo pero siempre manteniendo la imagen institucional.

## PALABRAS CLAVE

---

Diseño de documento,  $\text{\LaTeX} 2_{\varepsilon}$ , thesis, trabajo fin de grado, trabajo fin de master



# ABSTRACT

---

In our School a considerable number of documents are produced, as many educational as research. Our students also contribute to this production through his final degree, master and thesis projects. The objective of this material is to facilitate the editing of all these documents and at the same time to promote our corporate image, facilitating the visibility and recognition of our center.

In this sense we have tried to design a style of  $\text{\LaTeX}2_{\varepsilon}$  that maintains a corporate image and with simple commands that allow to maintain the corporate image with the necessary quality without forgetting the needs of the author. For this, a set of simple commands have been created around complex packages. These commands allow you to perform most of the operations that a document of this type may need.

Likewise, you can control a little the design of the document through the options of the style but always maintaining the institutional image.

# KEYWORDS

---

Document design,  $\text{\LaTeX}2_{\varepsilon}$ , thesis, final degree project, final master project



# ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Estado del arte</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Sistema</b>	<b>5</b>
3.1	Sensor de viento .....	5
3.2	Dron .....	7
3.2.1	Sistema de propulsión .....	7
3.2.2	Sistema de control .....	10
3.2.3	Mecánica .....	14
3.3	Sensor de viento en Dron .....	16
<b>4</b>	<b>Resultados experimentales y discusión</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Conclusión</b>	<b>23</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>25</b>
	<b>Definiciones</b>	<b>27</b>
	<b>Acrónimos</b>	<b>29</b>
	<b>Apéndices</b>	<b>31</b>



# LISTAS

---

## **Lista de algoritmos**

## **Lista de códigos**

## **Lista de cuadros**

## **Lista de ecuaciones**

3.1a	Señal descifrada .....	12
3.1b	Ecuación de obtención de rango .....	12
3.1c	Función de adafruit, generación de pwm en PCA9685 .....	12

## **Lista de figuras**

3.1	Sensor MPU0250 .....	6
3.2	Fórmula cuaternion .....	6
3.3	Ejes yaw, pitch y roll .....	6
3.4	Ejes MPU9250 .....	7
3.5	Dron básico .....	7
3.6	Motores dron .....	8
3.7	Controlador de velocidad .....	9
3.8	Tipos de hélices dron .....	10
3.9	Placa distribuidora de potencia .....	10
3.10	Controladora de dron .....	11
3.11	Diagrama placa controladora desarrollada .....	13
3.12	Mando FlySky dron .....	14
3.13	Chasis dron en X y H .....	15
3.14	Chasis dron .....	15
3.15	Batería dron .....	16
3.16	Dron con y sin piezas añadidas .....	17

3.17 Chasis raspberry dron .....	17
3.18 Zona sensorización dron .....	18
3.19 Pata dron .....	18
3.20 Foto del dron con sensorización de viento .....	19

## **Lista de tablas**

## **Lista de cuadros**

# INTRODUCCIÓN

---



## ESTADO DEL ARTE

---



# SISTEMA

---

Poner pequeña introducción del sistema.

## 3.1. Sensor de viento

Actualmente los sensores de vientos habituales cuentan con dos elementos básicos: el anemómetro y la veleta, el primero se encarga de medir la velocidad del viento y la veleta su dirección. Estos dos elementos pueden encontrarse montados de forma separada o conjuntamente denominándose veleta potenciométrica. Hay que tener en cuenta que este sistema de medición, aún siendo muy preciso, tiene un coste elevado y necesita de una instalación en una localización fija, que además de necesitar una altura mínima debe estar libre de obstáculos para poder realizar las medidas correctamente.

En nuestra vida diaria utilizamos desde dispositivos electrónicos hasta medios de transporte que incluyen sensores que miden su inclinación, aceleración y dirección, se puede ver como ejemplo desde un teléfono móvil a un coche o incluso un avión. Estos sensores se utilizan en la estabilización de un avión, el registro del movimiento de un coche o incluso en aplicaciones móviles.

El objeto de estudio de este trabajo es utilizar estos sensores para la medición del viento; en esta sección explicaré como utilizar un sensor de aceleración, giroscopio y magnetómetro.

Para realizar este experimento he utilizado el sensor MPU9250 [1] que a su vez tiene integrado otros dos sensores el MPU6050, que se encarga de la aceleración y el giroscopio, y el AK8963 que gestiona el magnetómetro, componiendo de esta forma un microchip que mide la alteración de su posición en función de 3 ejes.

Los datos obtenidos por el sensor MPU6050 son datos sin tratar, que indican la aceleración en el instante de la medición y la inclinación respecto de la anterior medida tomada, mientras que el sensor AK8963 indica la orientación del sensor.

Para poder saber claramente en que posición se encuentra el microchip con respecto a una superficie plana y no a su inclinación en relación a la anterior medida. He aplicado el algoritmo de madgwick que utiliza cuaterniones para indicar la inclinación absoluta en función de los ejes de la tierra.

# WARNING FOTO

**Figura 3.1:** PONER FOTO DE LOS SENSORES.

Los cuaterniones son un conjunto de cuatro componentes complejos que sirven para la teoría de números, rotaciones en el espacio y para diseño de gráficos; en mi caso lo utilizaré para las rotaciones en el espacio. Los cuaterniones se pueden expresar de la siguiente forma [2].

$$\mathbb{H} = \{a + bi + cj + dk : a, b, c, d \in \mathbb{R}\} \subset \mathbb{C}^2$$

**Figura 3.2:** Fórmula de cuaternion, podemos diferenciar w, x, y, z que son los valores reales que componen el cuaternion Q y el conjunto i, j, k que componen la parte imaginaria de las unidades.

Mediante el algoritmo de madgwick, convertimos los datos obtenidos desde el giroscopio, acelerómetro y magnetómetro en un componente de 3 elementos, yaw, pitch y roll. Cada uno de estos elementos nos indica su rotación respecto a un eje del aeromodelo.

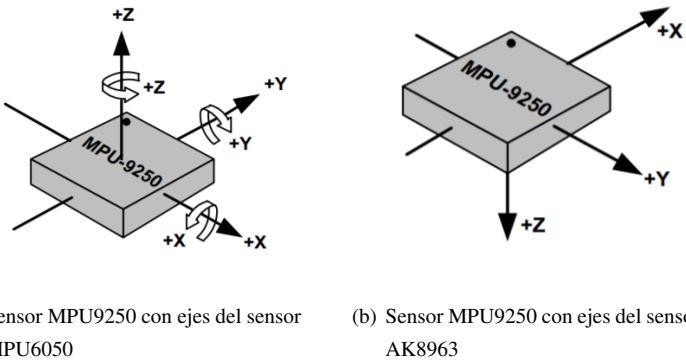


**Figura 3.3:** Avión con los ejes de giro, yaw, pitch y roll, obtenidos mediante cuaterniones.

Mediante la utilización de estas rotaciones en función de sus ejes podemos determinar como hay que actuar en los motores para que se mantenga volando de forma estable y horizontal.

En este punto contamos con la inclinación del sensor en base a los ejes de la tierra, su aceleración y su dirección en grados; con este conjunto de datos podemos calcular la variación de su posición en función de un punto inicial.

Para calcular el viento he planteado un sistema en el que el sensor está situado en un "poste flexible" inclinado al suelo; de esta forma si el sensor está orientado al norte y se inclina hacia delante obtenemos una dirección de viento de sur a norte, y en caso de inclinarse hacia delante y a izquierda, obtenemos un viento de sur-este. La fuerza del viento viene indicado directamente por los datos obtenidos del acelerómetro en función de los tres ejes.



**Figura 3.4:** Sensor MPU9250 con ejes de funcionamiento. Figura 3.4(a) muestra el sentido de los ejes del sensor MPU6050. Figura 3.4(b) muestra el sentido de los ejes del sensor MP6050.

## 3.2. Dron

Para la construcción del dron sobre el que se han realizado las pruebas, se ha seguido una lista de componentes, partiendo de los más restrictivos y completando con aquellos más flexibles dependiendo del sistema montado. A continuación indicaré en grupos los componentes elegidos con una breve descripción de su funcionamiento e importancia en el aeromodelo final.

**WARNING**  
**FOTO**

**Figura 3.5:** PONER FOTO DE DRON VIRGEN.

### 3.2.1. Sistema de propulsión

#### Motores

Los motores son una parte fundamental de un dron ya que han de proporcionar la potencia suficiente para hacer girar la hélices y, por consiguiente, hacer volar al dron.

He tenido en cuenta varios parámetros como por ejemplo, la potencia, el consumo y la fuerza máxima de empuje. Los motores se clasifican según su velocidad indicándose en KV, revoluciones por minuto por voltio y su dirección de giro, que se distingue entre CW y CCW. Es necesario tener el mismo número de motores CW y CCW ya que éstos giran en sentido contrario, evitando que se produzca un efecto de vórtice, es decir haciendo girar el dron sobre si mismo y sin ningún control. Así mismo se pueden diferenciar dos clases de motores: con escobillas o sin ellas, este factor afecta a la forma de cambio de giro de los motores. Los motores sin escobillas llevan un sistema de carga de

polos magnéticos para realizar el cambio de dirección, mientras que los motores con escobillas hacen circular corriente por unas bobinas generando un campo magnético y en consecuencia atrayendo o repeliendo el rotor en un sentido u otro, cabe destacar que es necesario un mínimo de 3 bobinas para hacer girar el rotor, puesto que si tuviésemos solo dos podría provocar que el motor se quedase en perpendicular cuando se produjese el cambio de giro.

He elegido unos motores sin escobillas por su rendimiento, menor desgaste y fiabilidad.



**Figura 3.6:** Motores de dron, 2 CW y 2 CCW.

Los motores elegidos constan de 2300 KV y sin escobillas, contando así con 3 cables: alimentación, masa y potencia. La velocidad de los motores varía mediante la utilización de una señal PWM, modificando su ciclo de trabajo desde 1 milisegundo (ms) a 2 ms, estableciendo a 1'5 ms funcionaría a mitad de potencia y a 2 ms funcionaría al 100 %.

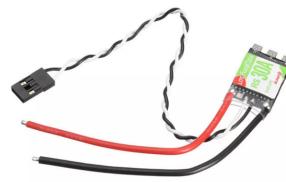
Un PWM es la modulación de una señal digital provocando en sistemas con menos velocidad de lectura la llegada de una señal analógica. Un PWM con una salida de 3,3 V y con un ciclo de trabajo del 50 % produciría en el sistema receptor una señal analógica de  $3,3\text{ V} / 50 = 0,66\text{ V}$  de señal de entrada, reduciendo su potencia un 50 %.

### Controlador de velocidad

El controlador de velocidad (ESC, Electronic Speed Controller), es un controlador esencial que determina la potencia suministrada al motor variando su velocidad. Es necesario instalar uno por cada motor controlándolos así de forma independiente. Por un lado cuenta con 2 ó 3 cables dependiendo de si es un controlador de velocidad para un motor con escobillas o sin ellas, y por otro lado dispone de 4 cables: dos cables de alimentación conectados a la placa de distribución de potencia y otros 2 que reciben la potencia que ha de suministrar al motor.

Los controladores de velocidad comprados cuentan con una capacidad pico de descarga de 35 amperios indicando la potencia que pueden generar los motores. Los ESC se deben elegir en función de la batería que vayas a utilizar, teniendo en cuenta el número de celdas y su ratio de descarga continua.

Los ESC pueden recibir la señal PWM que indica la potencia que debe de suministrar al motor, a



**Figura 3.7:** Controladores de velocidad dron.

partir del controlador de vuelo o directamente desde el receptor del mando. Es aconsejable recibirla desde el controlador de vuelo, ya que de esta forma se gestiona la estabilización del dron, favoreciendo a un control mucho más fácil del aeromodelo. [3]

### Hélices

Las hélices son un componente menos crítico a la hora de elegirlas y montarlas sobre el dron, contamos con diferentes formatos con las siguientes características:

**Tamaño:** Pueden variar desde 2 a 19 pulgadas, el tamaño de las hélices se ve limitado por el tamaño de los brazos del chasis donde se monten. Hay que tener en cuenta que a mayor tamaño mayor superficie y por tanto más empuje. Hoy en día se utilizan con más frecuencia las hélices entre 4 y 6 pulgadas las cuales favorecen el funcionamiento de drones con motores rápidos como los utilizados en drones de carreras, no obstante también se utilizan las hélices con tamaño de 10 o más pulgadas para aeromodelos que no priorizan la velocidad, si no que necesiten mayor estabilidad y llevar cargas elevadas.

**Número de aspas:** Varía desde 2 a 6 aspas, el número de aspas afecta a la superficie de empuje, aumentando la fricción y por tanto la fuerza que ejerce para levantar el dron. En hélices con un tamaño pequeño de hasta 6 pulgadas, podemos encontrar hasta un máximo de 6 aspas, mientras que en hélices de mayor tamaño, 10 pulgadas o superior, no solemos superar las 2 aspas.

**Forma:** La forma es un punto crítico de este componente, tienen una forma de pala corvada para conseguir el empuje del aire en el sentido contrario de giro del motor. La terminación del aspa también afecta al vuelo de un dron, se pueden diferenciar: acabadas en punta, Bullnose e Híbridas bullnose, determinando mayor o menor empuje y en consecuencia mayor o menor consumo.

En el dron diseñado he priorizado el tamaño, ya que como he explicado anteriormente el tamaño de las hélices afecta a la fuerza de empuje vertical del dron para poder levantar su carga, puesto que cuento con un dron con un peso de NOSECUANTOS gramos y con una carga añadida de 200 g máximo, he elegido unas hélices de 5 pulgadas con un total de 3 aspas, obteniendo así un punto



(a) Hélice con terminación en punta.

(b) Hélice con terminación tipo bullnose.

(c) Hélice con terminación tipo híbrida bullnose.

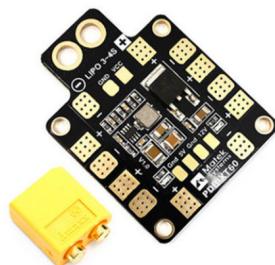
**Figura 3.8:** Tipos de hélices según la terminación de sus aspas.

óptimo entre empuje o fuerza máxima y duración de vuelo.

### 3.2.2. Sistema de control

#### Placa distribuidora de potencia

Un punto crucial de los componentes electrónicos es su alimentación, para favorecer la durabilidad y estabilidad del circuito o circuitos electrónicos debemos aislar el circuito de potencia del circuito lógico mediante elementos como los que contiene la placa distribuidora de potencia (PDB): diodos, resistencias y transistores los cuales evitan picos de tensión.

**Figura 3.9:** Placa distribuidora de potencia con conector XT60.

Esta placa está conectada a la batería mediante un conector, en este caso contamos con un conector XT60, el cual impide conectar cada polo con su opuesto debido a su forma, evitando así cortocircuitos y daños al sistema.

Por otro lado, la PDB distribuye la tensión necesaria al resto de los componentes, entre los que destacamos:

**ESC:** Hasta un total de 6 controladores de velocidad, en este caso son 4 ESC que funcionan

con baterías de 2 a 4 celdas y por tanto desde 6 a 16 voltios.

**Circuito 5V:** Circuito de 5 voltios de tensión con un sistema de BEC para evitar picos y conseguir un circuito con alimentación continua y estable, con una corriente continua de 2 amperios y una corriente máxima de 2'5 amperios.

**Circuito 12V:** Circuito de 12 voltios de tensión, con el mismo funcionamiento que el circuito a 5 voltios, con una corriente continua de 500 mA y máxima de 0'8 amperios.

### Controlador de vuelo

La placa controladora de vuelo es la unidad de procesamiento del dron encargada de gestionar las señales provenientes del receptor, leer los parámetros de los diferentes sistemas de estabilización y su posterior modificación para proporcionar la potencia adecuada a cada motor.

### Placa comercial

La elección de la controladora de vuelo viene determinada sólamente por el protocolo de comunicación que utilice, aunque a día de hoy la mayoría de controladoras cuentan con software reprogramable que se ajusta a los diferentes sistemas de comunicación, como los más conocidos iBUS o sBUS.



Figura 3.10: Placa controladora mateksys.

En la controladora de vuelo pueden conectarse el sistema de comunicación, sistema de vídeo, controladores de velocidad de los motores, bocina de emergencia y la antena de comunicación de largo alcance.

REF

### Placa desarrollada

En este TFG he reproducido el sistema de control del dron en una Raspberry Pi 3 B+, con el fin de unificar todos los controles en un solo punto y poder utilizar todas señales entrantes y salientes para mediciones posteriores.

Para representar el sistema de la controladora de vuelo he partido del sistema de descifrado del protocolo de comunicación elegido, iBUS, este protocolo manda paquetes de información a través del

puerto serie. La raspberry cuenta con dos pines de comunicación por puerto serie: Rx para recibir la información y Tx para transmitirla. El paquete recibido tiene un tamaño total de 31 bytes, con un byte inicial estándar con contenido igual a BLABLABLA, a continuación encontramos un total de 14 canales con 2 bytes por canal y un checksum al final con un tamaño de 1 byte. El paquete se transmite cada 7 ms con una tasa de baudios de 115200, es decir, un total de 115200 bits por segundo. Para desglosar el paquete recibido, enviado por el mando, he codificado un algoritmo en python donde diferencio y convierto cada uno de los bytes a decimal, obteniendo de esta forma un valor de cada canal entre 1000 y 2000, siendo 1000 el valor mínimo y 2000 el máximo valor posible.

Para poder producir el PWM correcto y enviárselo a los controladores de velocidad, he escogido el chip PCA968 que convierte digital a PWM y tiene hasta un máximo de 8 canales. Ha sido necesario dicho chip ya que la raspberry no cuenta con el número suficiente de canales para controlar los 4 motores. La configuración del chip PCA9685 se ha realizado mediante comunicación por I2C y su respectiva librería de adafruit obtenida por github.

I2C, es un protocolo de comunicación que cuenta con 2 cables: uno de ellos (SCL) indica los pulsos de reloj y el otro (SDA) se encarga de transportar los datos. I2C es un protocolo de comunicación entre dos o más puntos con un solo cable de datos, por ello la comunicación cuenta con un maestro que se encarga de mediar.

He tenido que indicar desde la raspberry la frecuencia de salida de los PWM, 2000 hercios (Hz) , y el ciclo de trabajo previamente obtenido por nuestro rango de entrada entre 1000 y 2000. [4]

## Sistema

**Input:** mínimo de 1000 y máximo de 2000

**Output:** señal PWM a 2Khz de frecuencia y un ciclo de trabajo de 125us hasta un máximo de 250us

## PCA9685

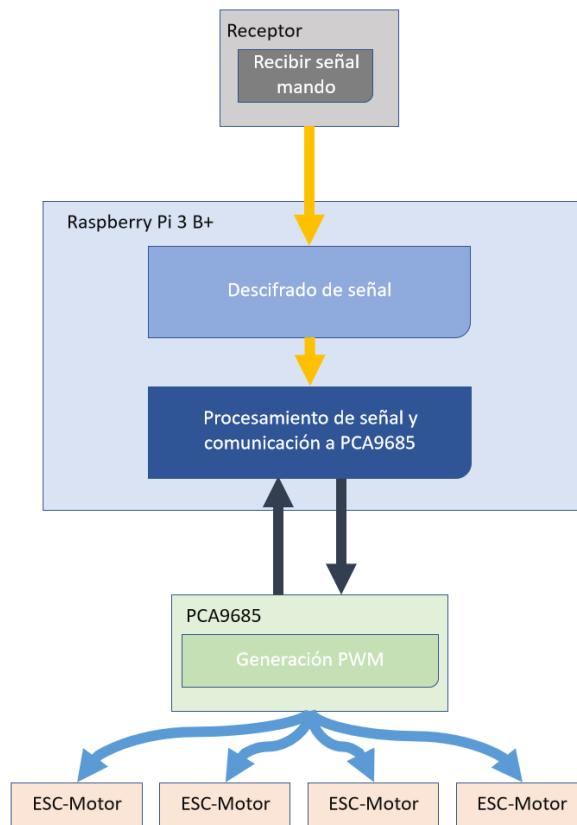
**Input:** canal de 1 a 8, mínimo rango entre 3296 y 2498, máximo rango fijo 4095

**Output sistema:** señal PWM a 2Khz de frecuencia y un ciclo de trabajo de 125us hasta un máximo de 250us

$$\text{input} = [1000, 2000] \quad (3.1a)$$

$$\text{rango} = 3296 - (\text{input} - 1000) * \frac{(3296 - 2498)}{1000} \quad (3.1b)$$

$$\text{pwm.set_pwm(canal, rangoMnimo, 4095)} \quad (3.1c)$$



**Figura 3.11:** Diagrama de placa controladora. El receptor obtiene la señal mandada por el mando y la manda a la raspberry mediante el protocolo iBus. La raspberry descifra utilizando el algoritmo desarrollado el paquete en valores entre 1000 y 2000 por cada canal. Posteriormente genera la señal que tiene que mandar al controlador PCA9685 mediante la librería de adafruit. El controlador PCA9685 convierte los datos obtenidos en PWM que manda por 4 canales a los ESC-Motores.

Una vez conseguida la señal de salida PWM en función de la entrada del mando, modiflico la señal a partir de los datos obtenidos por el sensor MPU9250 el cual nos indica la inclinación y fuerzas que se ejercen sobre el dron. De esta forma mandamos la potencia adecuada a cada motor para conseguir un vuelo estable y horizontal. Debido a las dificultades de probar el sistema de estabilización y su ajuste, decidí trabajar con la placa comercial.

### Sistema de comunicación

El sistema de comunicación cuenta con dos componentes, receptor y transmisor, se pueden elegir diferentes tipos teniendo en cuenta su protocolo de comunicación.

El sistema de comunicación tiene diferentes protocolos para transmitir la información, utiliza un protocolo de comunicación entre emisor y receptor y otro distinto entre receptor y unidad de procesamiento o controladora de vuelo. [5]



**Figura 3.12:** Mando FlySky para dron.

El protocolo de comunicación entre receptor y emisor tiene que ser siempre iguales, es por eso que la mayoría de mandos, emisores, vienen con un receptor standard. En mi caso he utilizado un pack FlySky entre emisor y receptor.

Entre el receptor y la unidad de procesamiento podemos encontrar protocolos como PWM, PPM, SBUS, iBus entre otros. La diferencia entre estos protocolos es la forma de estructurar el paquete de datos o la conexión que hay que realizar a nivel de hardware. Por su simplicidad y comodidad he utilizado el protocolo PWM que cuenta con un paquete de transmisión de 31 bytes.

### 3.2.3. Mecánica

#### Chasis

El chasis de un dron es la estructura donde se van a montar todos los componentes anteriormente descritos, contamos con diferentes características a elegir a la hora de comprar o fabricar nuestro chasis:

**Número y longitud de brazos** El número de brazos determina el número de motores que podemos instalar en nuestro aeromodelo, hay chasis con 4 hasta 8 brazos, siempre números pares. La longitud de los brazos nos ayuda a instalar unas hélices de mayor tamaño.

**Distribución** La distribución de los brazos es una característica no muy importante y más bien estética. En chasis con 4 brazos podemos encontrar distribuciones en H o en X.



(a) Chasis drone en forma de X

(b) Chasis drone en forma de H

**Figura 3.13:** Diferencia entre formas de chasis en X 3.13(a) y H 3.13(b) en drones.

**Material** El material del chasis dispone su rigidez y peso al dron, el material mas utilizado es la fibra de carbono por su leve peso y su rigidez que permite recibir golpes sin llegar a romperse.



**Figura 3.14:** Chasis dron.

El dron elegido cuenta con un chasis con un total de 4 brazos en disposición H con un tamaño total de cada brazo de 220 milímetros permitiéndome instalar unas hélices de hasta 5 pulgadas, este chasis de fibra de carbono pesa un total 127 gramos.

### Batería

Las baterías para cualquier radio control son indispensables ya que es elemento que proporciona la electricidad para que todo funcione, por eso es indispensable calcular el gasto de nuestro sistema para escoger una batería que nos proporcione una durabilidad media elevada. A la hora de elegir una batería podemos encontrar diferentes parámetros donde escoger, como:

**Composición:** Podemos encontrar múltiples baterías en función de su composición. Hay diferentes tipos como Niquel Cadmio(NiCd), Ion Litio (Li-ion), Ion Litio Polímero (LiPo).

**Capacidad:** A mas capacidad de carga de la batería mas duración de uso tiene pero a su vez mas peso. Afectando el peso al tiempo de vuelo en el caso del dron.

**Número de celdas:** Cuanto mayor es el número de celdas, generalmente, más capacidad de la batería y más potencia. Las celdas tienen una tensión de 3.3 V y al estar conectadas en serie proporcionan un total de 11V.

**Tasa de descarga:** La tasa de descarga indica la tasa máxima de descarga que ofrece la batería, a mayor tasa de descarga mas potencia se transmite a los motores y por tanto mayor empuje.

Para el dron utilizado he escogido una batería de 3 celdas de Ion Litio Polímero (LiPo) con una capacidad de 1500 miliamperios (mAh) con un peso de 107 gramos (g).



**Figura 3.15:** Batería dron.

La configuración de esta batería nos ayuda a tener una capacidad aceptable en relación con el peso. Está compuesta por Ion Litio de polímero proporcionando una durabilidad de 300 a 500 horas (h) de uso sin necesidad de mantenimiento por parte del usuario. Cuenta con 3 celdas en serie consiguiendo una mayor capacidad de almacenamiento y mayor tensión de salida para alimentar el sistema.

### 3.3. Sensor de viento en Dron

En esta sección describiré como unifico el sensor de viento con el dron y que es necesario para que todo funcione como un único sistema. Para poder llevar a cabo esta unión se ha de tener en cuenta el peso del sistema de viento, raspberry y sensorización, junto con el peso del dron para hacer una estimación media de la duración de vuelo.

**Desde donde parto** Para poder diseñar un sensor de viento que funcione con un dron primero hay que estudiar que sistema de estabilización usa el dron, podemos diferenciar entre dos principales sistemas. Un primer sistema realiza una estabilización del dron que registra la desviación de su posición desde un punto y lo corrige para mantenerse siempre en el

mismo punto. El segundo sistema de estabilización, intenta que el dron no se caiga modificando la potencia de los motores acorde con la fuerza que se ejerce sobre él, de esta forma consigue que el dron esté lo más horizontal posible.

En mi caso, uso un sistema comercial que funciona como el segundo sistema descrito y por tanto uso un giroscopio para poder medir dichas variaciones. En el caso de usar el primer sistema se debería usar una medición de la potencia suministrada a los motores para ver que potencia está ejerciendo para contrarrestar la fuerza que se ejerce sobre él.



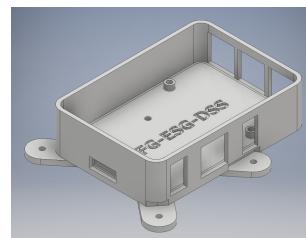
**Figura 3.16:** PONER FOTO DE DRON VIRGEN Y RASPY/SENSOR.

Por otro lado contamos con un chasis base de un dron de 220 mm de longitud de hélice a hélice donde es necesario montar un soporte para instalar nuestro ordenador o unidad de procesamiento, en mi caso una Raspberry Pi 3 B+, y nuestro sistema de sensorización.

**Como lo juntó** Para poder unir los dos sistemas y realizar medidas en vuelo, he tenido que diseñar una serie de piezas 3D para su posterior impresión y acoplamiento en el chasis del dron.

Entre las piezas de impresión podemos contar con:

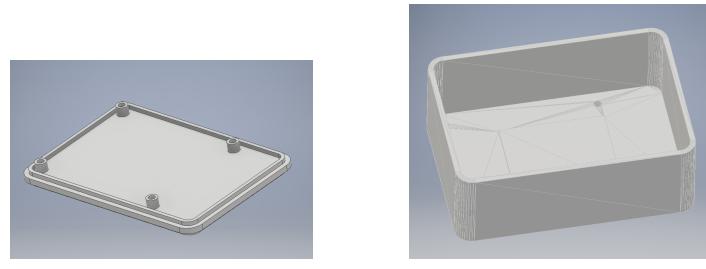
**Soporte Raspberry Pi** Para el soporte de la Raspberry Pi 3 B+, he diseñado una pieza que se acopla en la parte inferior del chasis del dron.



**Figura 3.17:** Soporte Raspberry dron.

**Zona de sensorización:** Una vez instalado el soporte de la Raspberry he diseñado una tapa intermedia donde se puede instalar el sistema de sensorización necesario. Esta zona está diseñada con suficiente espacio para instalar mas sensores a parte del sensor base diseñado, sensor de viento, como por ejemplo un sensor de gas con sus componentes necesarios.

Al diseñarlo de forma modular, por piezas, podemos modificar la tapa del chasis del dron 3.18(b) y diseñar otra forma o ampliar el espacio para que se acople a la tapa intermedia 3.18(a).

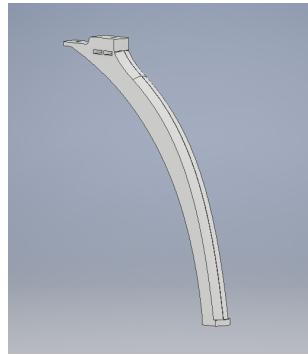


(a) Tapa intermedia dron

(b) Tapa chasis dron

**Figura 3.18:** Zona de sensorización. Tapa intermedia 3.18(a) acoplada al soporte de la raspberry 3.17 y a ella se ancla la tapa 3.18(b) para cerrar nuestro modelo.

**Elementos de aterrizaje** Una vez instaladas las anteriores piezas, hemos prolongado el dron por su parte inferior un total de TANTOS cm y es necesario instalar un tren de aterrizaje.



**Figura 3.19:** Diseño de pata del dron del tren de aterrizaje.

Para el tren de aterrizaje se ha probado instalar un total de 4 patas, una por cada motor. Por problemas de estabilidad se eliminó una de ellas y la tercera se instaló en la parte delantera-media del dron. Con 3 patas nos aseguramos aterrizar el dron en una superficie plana.

**Como funciona todo junto** Una vez unido todo como un solo sistema, dron y sensorización junto con la raspberry, procederé a realizar las mediciones con el dron volando.

Para tomar las medidas correctamente se tiene que mantener volando. Se obtienen los datos a partir de la variación de su posición en cuanto a inclinación que sufre por fuerzas como el viento. Para la realización de esta prueba contamos con los cálculos de vuelo previamente hechos sobre un dron con un peso máximo de 900 gramos y con una batería de 3 celdas y 1500 mAh de capacidad. El único manejo que se ha de hacer con el dron a la hora de medir es modificar su altura ya que no tiene un sistema automático de mantenimiento de distancia respecto del suelo.



**Figura 3.20:** FOTO DEL SISTEMA FINAL.



# RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

---

resultados y discusion



# CONCLUSIÓN

---

conclusion



# BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] InvenSense, “MPU9250 Product Specification Revision 1.1,” 2016.
- [2] T. O. J. T. Graves, D. R. Wilkins, and M. Corr, “COPY OF A LETTER FROM SIR WILLIAM R . HAMILTON On Quaternions ; or on a new System of Imaginaries in Algebra . By Sir,” *Philosophical Magazine*, vol. 25, no. 1844, 1999.
- [3] Oscar Serrano, “Variador electrónico (ESC): Qué es y cómo funciona | FpvMax.”
- [4] A. Industries, “PCA9685 Adafruit.”
- [5] Eric, “No Title,” 2017.



# DEFINICIONES

---



# **ACRÓNIMOS**

---



# **APÉNDICES**





