

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

© 20 de Junio de 2019 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 familia y amis compañeros.

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 comenzé 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 $\text{\LaTeX} 2\epsilon$ 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

Dron, sensor, viento, vuelo, sistema, sensorización, gas/es, protocolo

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

Drone, sensor, wind, fly, system, sensorización, gas/es, protocol

ÍNDICE

1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Organización de la memoria	1
2 Estado del arte	3
3 Sistema	5
3.1 Dron	5
3.1.1 Sistema de propulsión	5
3.1.2 Sistema de control	8
3.1.3 Mecánica	11
3.2 Implementación de sensores comerciales	12
3.3 Desarrollo de sensor de viento propio	15
4 Pruebas y resultados	19
4.1 Instrumentos de medición	19
4.2 Toma de medidas	20
4.3 Resultados	21
5 Conclusión	27
Bibliografía	29
Definiciones	31
Acrónimos	33
Apéndices	35
A Estudio técnico de componentes para dron	37
B Código diseñado para placa controladora	39
C Código de registro del viento	41

LISTAS

Lista de códigos

B.1	Main placa controladora TCP	40
C.1	Código registro de viento.	42

Lista de ecuaciones

3.1a	Paquete 31 bytes entrante	9
3.1b	Señal descifrada	10
3.1c	Ecuación de obtención de rango	10
3.1d	Función de adafruit, generación de pwm en PCA9685	10
3.2	Expresión de cuaterniones.	13
4.1a	Fórmula de conversión G	21
4.1b	Fórmula de conversión a N.....	21

Lista de figuras

3.1	Dron básico	6
3.2	Diagrama placa controladora desarrollada	10
3.3	Sensor MPU9250	13
3.4	Ejes yaw, pitch y roll	14
3.5	Ejes MPU9250	15
3.6	Dron y sensorización	16
3.7	Antes y después de adaptacion raspberry-dron	16
3.8	Foto del dron con sensorización de viento	18
4.1	Plano gimnasio IES Valle Inclán.	20
4.2	Aceleraciones en 3 ejes.	22
4.3	Puntos de medida	23
4.4	Mapa de calor con zoom	23
4.5	Mapa de calor sin zoom	24
4.6	Mapa viento 2D - Z0	24

4.7	Mapa viento 2D - Z1	25
4.8	Representación toma de puntos en gimnasio	25
4.9	Mapa de viento 3D	26
A.1	Estudio técnico de dron	37
B.1	Estructura programa	39

INTRODUCCIÓN

Se ha realizado este tfg para investigación del medio ambiente, contar que los gases son malos, q necesitan su estudio la propagación de los gases es debido al viento

1.1. Motivación

no poner que lo he hecho porq me gusta poner porq lo he hecho, con q fin y para q servira

1.2. Objetivos

medir viento con un sistema portatil y pqueño para el estudio de la propagacion de gases

1.3. Organización de la memoria

En primer lugar hablo del sistema, que es un sensor de viento, como lo he pensado, luego un dron y despues como montarlo en un dron Como he realizado las medidas, como han resultado y representacion con graficas Como ha resultado el estudio del viento con este sistema, como mejorarlo

ESTADO DEL ARTE

Esta hecho xq Este sistema ya esta hecho pero es muy caro, mi diseño es mas barato, montado sobre raspi q es low cost trata sobre dron, sensor de viento

SISTEMA

En este apartado se explicará como realizar el estudio del viento con los métodos descritos en el capítulo del estado del arte 2 y como diseñar una plataforma sobre la que se puedan unificar distintos sistemas de medición. Trataré los drones y sus componentes, posteriormente describiré los sistemas de viento y mi implementación mediante sensores actuales, finalizando con un sistema portátil de medición del viento.

Debido al gran tamaño y coste de los drones industriales, he decidido diseñar uno propio mas pequeño y barato y añadirle las modificaciones necesarias para incorporar el sistema de sensorización necesario. Mi dron estará diseñado para la incorporación de un microsistema de medición de gases junto con un sensor de viento.

3.1. 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.

3.1.1. 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 el 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 (CW)** y **CCW (CCW)**. Es necesario



Figura 3.1: Dron por partes. Encontramos los diferentes componentes del dron.

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 la 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, como los ilustrados en la figura 3.1 (4).

Los motores elegidos constan de 2300 Kilo Voltage (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) hasta 2 ms, estableciendo a 1'5 ms funcionaría a mitad de potencia y a 2 ms funcionaría al 100 %.

Un Pulse width modulation 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 **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, 3.1 (2), 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 suministrar al motor, a 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 un control mucho más fácil del aeromodelo [1].

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 660 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 óptimo entre empuje o fuerza máxima y duración de vuelo, 3.1 (5).

3.1.2. 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 **Pluggable Database (PDB)**: diodos, resistencias y transistores los cuales evitan picos de tensión.

Esta placa, 3.1 (6), 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 la 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 mas conocidos iBUS o sBUS.

En la controladora de vuelo, 3.1 (7), 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.

Placa desarrollada

En este Trabajo final de grado (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 0x55, 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 PCA9685 que convierte de 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 I2C¹ y su respectiva librería de adafruit obtenida por github.

He tenido que indicar desde la raspberry la frecuencia de salida de los PWM, 2000 Hz , y el ciclo de trabajo previamente obtenido por nuestro rango de entrada entre 1000 y 2000. [2]

Funcionamiento de algoritmo codificado

La Raspberry recibe el paquete de bytes 3.1a y lo transforma mediante el algoritmo diseñado y codificado en valores entre 1000 y 2000 por cada canal 3.1b. Por otro lado se usa la librería de Adafruit para el chip PCA9685, pasándole el rango obtenido mediante la fórmula ?? y configurando el PWM a generar a 2KHz de frecuencia, quedando la función en python de la forma mostrada en la ecuación ??.

¹I2C, 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. Al contar con un único cable de datos y ser capaz de comunicar dos o más dispositivo es necesario de un maestro que se encargue de mediar la comunicación.

55, DD05, DC05, EB03, DC05, E803, D007, D205, D905, E803... (3.1a)

$input = [1501, 1500, 1003, 1500, 1000, 2000, 1490, 1497, 1000, 1000, 1500, 1500, 1500, 1500]$ (3.1b)

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

`pwm.set_pwm(canal, rangoMinimo, 4095)` (3.1d)

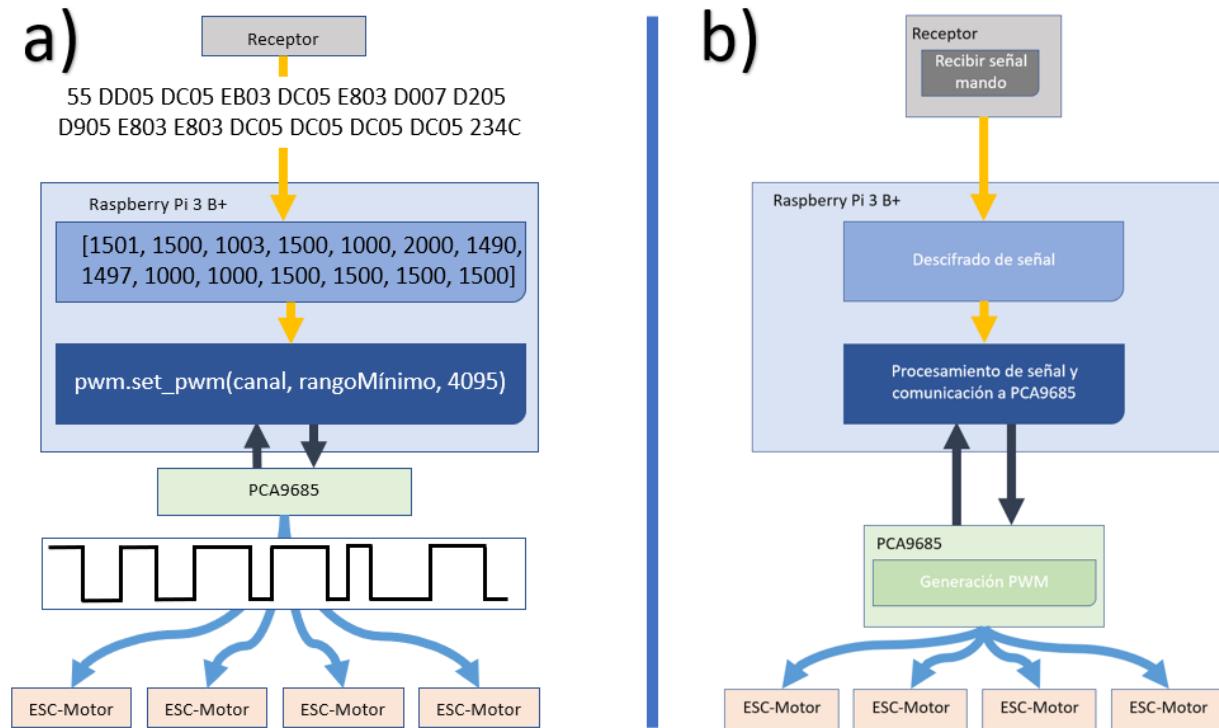


Figura 3.2: Diagrama de placa controladora. El receptor obtiene la señal emitida por el mando y la envía a la raspberry mediante el protocolo iBus. La raspberry descifra el paquete utilizando el algoritmo desarrollado en python y obteniendo valores entre 1000 y 2000 por cada canal. Posteriormente genera la señal que tiene que enviar 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, modifíco 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 está compuesto por dos componentes, receptor y transmisor, 3.1 (1) y 3.1 (3), y 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 entre emisor y receptor y otro distinto entre receptor y unidad de procesamiento o controladora de vuelo [3].

El protocolo de comunicación entre emisor y receptor tiene que ser siempre igual, es por eso que la mayoría de mandos, emisores, incluyen un receptor estándar. En mi caso he utilizado un pack FlySky emisor-receptor.

En el caso del protocolo entre el receptor y la unidad de procesamiento podemos encontrar señales PWM, PPM, SBUS, iBus entre otras. 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 iBus que cuenta con un paquete de transmisión de 31 bytes.

3.1.3. Mecánica

Chasis

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

Número y longitud de brazos El número de brazos determina el número de motores que podemos instalar en nuestro aeromodelo, hay chasis desde 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 no es una característica muy importante sino más bien estética. En chasis con 4 brazos podemos encontrar distribuciones en H o en X.

Material El material del chasis dispone al dron de resistencia ante roturas en caso de accidente, rigidez a la hora de ejercer fuerza sobre él y peso según la composición del material utilizado. He utilizado un chasis de fibra de carbono por su equilibrio entre las características mencionadas destacando su leve peso.

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

Batería

La batería para cualquier radiocontrol es indispensable ya que es el elemento que proporciona la electricidad para que todo funcione, por eso es fundamental calcular el gasto de nuestro sistema y escoger una batería que nos proporcione una durabilidad media elevada. Distinguimos diferentes características de las baterías como:

Composición: Existen diferentes tipos de baterías en función de su composición. Hay diferentes tipos como Níquel Cadmio, Ion Litio, Polímero de Ion Litio.

Capacidad: A más capacidad de carga más duración de vuelo tiene pero a su vez mas peso, perjudicando este al tiempo de vuelo.

Número de celdas: A mayor número de celdas generalmente la batería cuenta con más capacidad y más potencia al estar conectadas en serie.

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

Para el dron utilizado, he escogido una batería de 3 celdas de Polímero de Ion Litio (LiPo) con una capacidad de 1500 miliamperios (mAh) y con un peso de 107 gramos (g), 3.1 (8).

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

3.2. Implementación de sensores comerciales

Actualmente los sensores de viento habituales cuentan con dos elementos básicos: el anemómetro y la veleta, el primero se encarga de medir la velocidad del viento y consiste en un hilo de platino que se calienta eléctricamente; la acción del viento produce la disminución de su temperatura variando así su resistencia y provocando que la corriente que atraviesa dicho hilo se altere y nos indique de forma proporcional la velocidad del viento [4], y el segundo elemento básico, la veleta, indica la dirección del viento; esta es una superficie plana colocada en un eje, distribuyendo de forma equitativa su peso y permitiendo que gire libremente, la superficie plana no es igual en la parte delantera y trasera, siendo esta última de mayor tamaño y provocando que la parte pequeña o delantera indique hacia la dirección del viento [5]. Estos dos elementos pueden encontrarse montados de forma separada o conjuntamente denominándose veleta potenciométrica [6]. 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 un teléfono móvil, 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 MPU9250², ilustrado en la figura 3.3, 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 MPU6050³ 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.

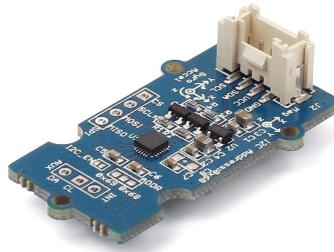


Figura 3.3: Sensor MPU9250 con breakoutboard - IMU92D0F

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 [7] que utiliza cuaterniones para indicar la inclinación absoluta en función de los ejes de la tierra.

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 [8].

Fórmula de cuaternion, 4 dimensiones. a, b, c, d son las componentes reales del cuaternion. i, j, k son los componentes que multiplican cada una de las componentes reales.

²Datasheet: InvenSense, “MPU9250 Product Specification Revision 1.1,” 2016. (Date of access: 2019-06-12)

³Datasheet: InvenSense, “MPU6050 Product Specification Revision 3.3,” 2012. (Date of access: 2019-06-12)

$$\mathbb{H} = \{a + bi + cj + dk : a, b, c, d \in \mathbb{R}\} \subset \mathbb{C}^2 \quad (3.2)$$

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.

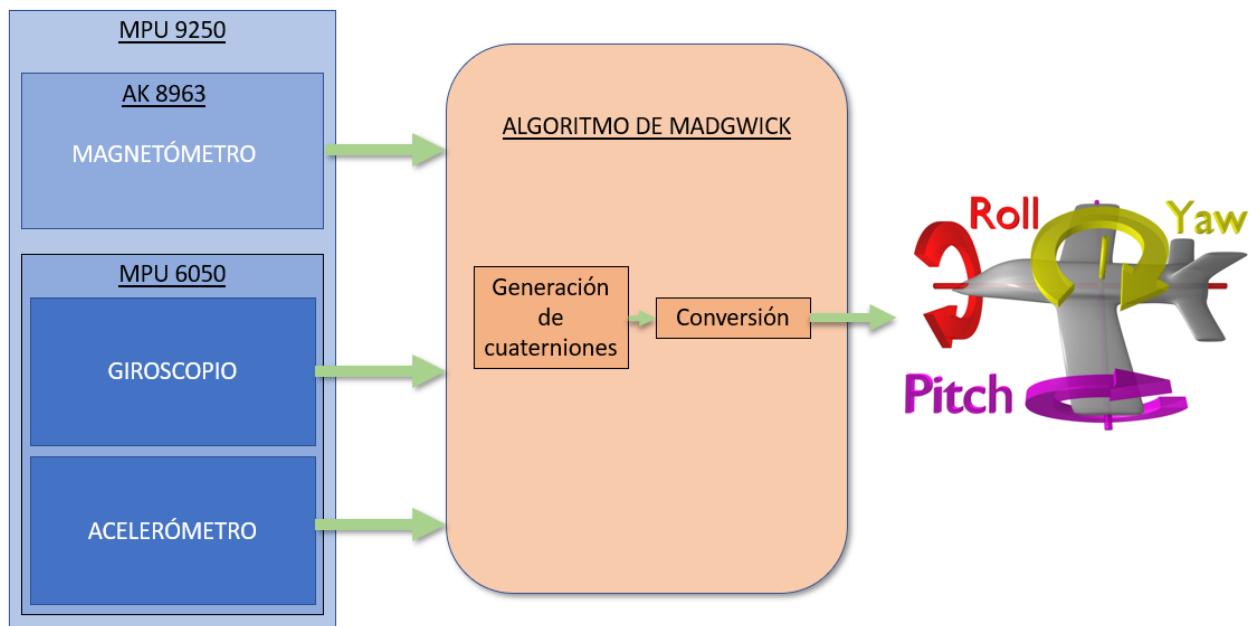
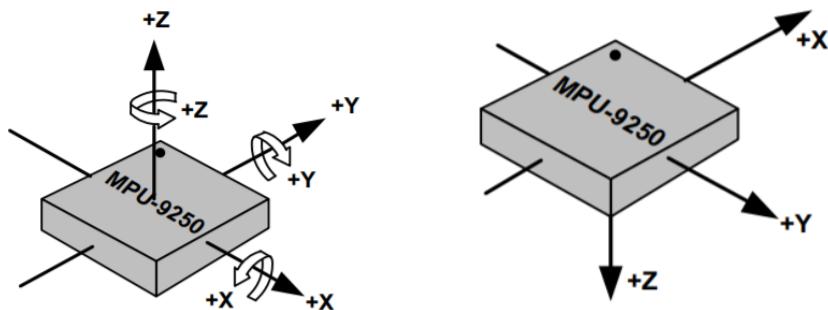


Figura 3.4: Recogemos los datos del sensor MPU9250, magnetómetro, giroscopio y acelerómetro y los tratamos mediante el algoritmo de madgwick. Convierte las medidas y los convierte en los ejes de giro, yaw, pitch y roll.

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" anclado 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.



(a) Sensor MPU9250 con ejes del sensor MPU6050 (b) Sensor MPU9250 con ejes del sensor AK8963

Figura 3.5: Sensor MPU9250 con ejes de funcionamiento. Figura 3.5(a) muestra el sentido de los ejes del sensor MPU6050. Figura 3.5(b) muestra el sentido de los ejes del sensor MPU6050.

3.3. Desarrollo de sensor de viento propio

En esta sección describiré como unifico el sensor de viento con el dron y qué 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, la Raspberry y el sistema de sensorización, junto con el peso del dron para hacer una estimación media de la duración de vuelo.

A continuación explicaré los tres pasos que he llevado a cabo: en primer lugar desde donde empiezo, seguido de como junto todos los sistemas y finalizando con como funciona todo el conjunto.

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 sistemas principales. 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 ese 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 el, de esta forma consigue que el dron esté los más horizontal posible.

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

Por otro lado contamos con un chasis base de un dron de 220 mm entre ejes 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.



Figura 3.6: Dron sin ningn añadido y sistema de sensorización con Raspberry.

Como lo junto Para poder unir los dos sistemas y realizar medidas en vuelo, he tenido que aprender a utilizar un software específico para diseñar una serie de piezas 3D y así poder acoplar la sensorización al dron.

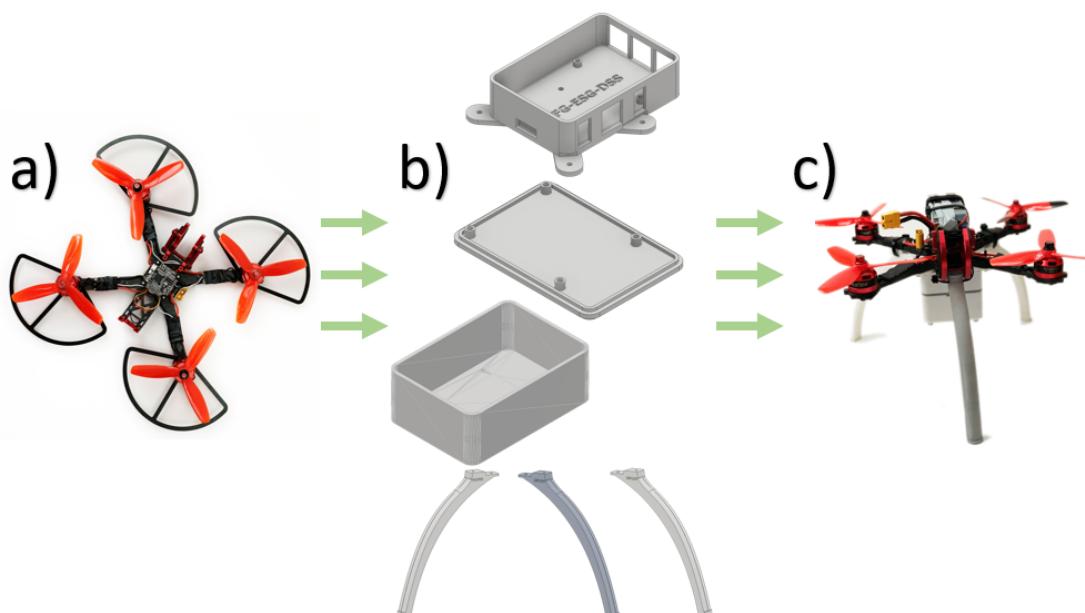


Figura 3.7: Modificaciones instaladas al dron para incorporar sensorización.

Entre las piezas de impresión contamos 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.

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 esta diseñada con suficiente espacio para poder instalar además del sensor base diseñado, sensor de viento, otros sensores como por ejemplo un sensor de gas con sus componentes necesarios.

Al diseñar las piezas de forma independiente podemos modificar, en caso de

necesidad, la tapa del chasis del dron ?? y crear otra forma o ampliar el espacio respetando el acoplamiento a la tapa intermedia ??.

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

Para el tren de aterrizaje he probado a instalar un total de 4 patas, una por cada motor. Por problemas de estabilidad se eliminó una de ellas, distribuyendo 2 de las patas en los motores traseros y la tercera en la parte delantera-media del dron. Con 3 patas nos aseguramos aterrizar el dron correctamente en una superficie plana.

Funcionando conjuntamente 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 con el dron se tiene que mantener volando, los datos se obtienen 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 debe hacer con el dron en el momento de medir es modificar su altura ya que no tiene un sistema automático de mantenimiento de distancia respecto del suelo.



Figura 3.8: Dron con sensorización creado.

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Instrumentos de medición

Esta sección tratará los instrumentos de medición con los que realizaran las pruebas, tanto los diseñados a nivel de hardware como los elementos software de toma de datos. A nivel físico se cuenta con el dron construido y su equipo: batería, mando-receptor, hélices, motor, controlador de velocidad, PDB y chasis; cabe nombrar el escenario donde se han realizado las pruebas. A nivel de software se ha contado con programas diseñados y codificados en python 3 por su facilidad a la hora de codificar y su versatilidad en cuanto a incluir librerías ya implementadas por otros usuarios. Se ha tenido que desarrollar dos programas: un primero encargado de la toma de medidas como las descritas en la sección 3.2 y un segundo programa que usa estas medidas y las plasma en gráficas adecuadas para su interpretación.

Para usar el dron construido se dispone con 3 baterías de 1500 mAh que proporcionan una media de 15 minutos de vuelo interrumpido, con vuelos de 10 aproximadamente segundos por cada medida. Las baterías sirven para dar potencia al dron descrito en el apartado 3.3. Para maniobrar el dron se utiliza un mando de un alcance teórico de 500 metros como el ilustrado en la figura 3.1(1).

La utilización de drones se ha visto aumentada en los últimos años, desde drones pequeños, de menos de 2 Kg, hasta drones de grandes dimensiones que pueden llegar a pesar más de 25 kg. Son aparatos que puede ser utilizados tanto para uso recreativo como para transporte de paquetes o incluso personas. Dependiendo de su práctica y sus características, peso y tamaño, es necesario tener una licencia para su uso. Podemos distinguir diferentes tipos de licencia como por ejemplo: licencias para drones de desde menos de 2 kilogramos (kg) de peso hasta más de 25, licencias para su uso a corta o larga distancia o licencias en función del escenario donde se pretenda volar el aeromodelo.

Para el dron que se ha desarrollado no es necesario un permiso especial puesto que es un objeto de menos de 2 kg de peso, no obstante dado que se puede clasificar como un dron para su uso industrial se podría necesitar con una licencia especial para poder realizar la toma de medidas.

Esta es la razón por la que la mayoría de las tomas de medidas se han realizado en un sitio cerrado,

utilizando las instalaciones del Instituto de Educación Secundaria Obligatoria (IES) Valle Inclán en Torrejón de Ardoz. Las tomas de medidas se han realizado en horario no lectivo en un sitio controlado por varios ayudantes.

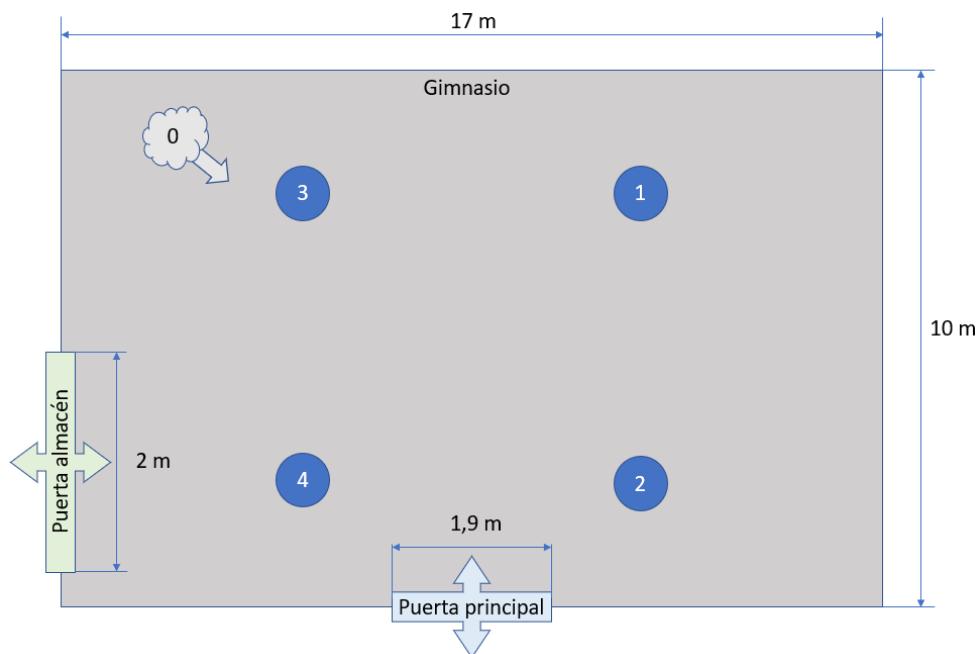


Figura 4.1: Plano del gimnasio del IES Valle Inclán con las entradas/salidas que afectan a la toma de medidas. Puntos 1-4 representan los puntos donde se ha realizado la toma de medidas. Punto 0 representa el foco del viento.

El escenario principal utilizado ha sido el gimnasio del centro, que cuenta con un espacio de 10 m x 17 m x 4'6 m, dispone de varias puertas de las que sólo hay que tener en cuenta aquellas que dan a la calle, ya que son las que podrían alterar las medidas tomadas por la circulación del aire. La puerta principal da paso al centro de la sala, la puerta del almacén del material se encuentra en la esquina izquierda del gimnasio.

Un segundo escenario donde se han realizado las medidas es en el Monumento de los Guardias Forestales localizado en el municipio de Rascafría, Madrid, dirección Puerto de Cotos. En esta localización se probó un vuelo al aire libre y de mayor altura con viento moderado para comprobar cómo se comporta el dron en situaciones más reales.

4.2. Toma de medidas

Se han realizado las tomas de medidas de formas distintas: la primera como una toma única de datos y la segunda como la toma de conjunto de puntos como el descrito en la figura 4.1.

En ambas tomas de medidas se ha alterado la altura del dron para poder realizar una comparación

del viento, a una altura de 0,5 metros (m) del suelo y a 2,5 metros aproximadamente. Cabe indicar que para la toma del conjunto de datos, se ha simulado una matriz en el gimnasio y modificando la posición del dron para cada una de las tomas de datos, cambiando tanto su posición en el eje X, Y como Z.

Para las tomas de medidas se ha simulado una corriente de aire con un ventilador; no obstante al ser una circulación de aire tan leve se tuvo que incorporar en la generación del aire, un movimiento mecánico manual de una colchoneta a forma de abanico.

Una vez preparado el escenario, con y sin viento, se procedió a la colocación del dron y a la toma de datos. En una primera prueba se realizaron tomas de datos individuales a varias alturas para familiarizarse con el comportamiento del dron con y sin viento. En las siguientes pruebas se realizaron algunas tomas individuales y un total de 2 pruebas de matrices, con un conjunto de 8 puntos, 4 en un plano y 4 en otro plano. El primer plano se definió a una altura aproximada de 0'50 metros (m) del suelo, mientras que el segundo se situó a una altura aproximada de 2'5 m de altura.

La forma de tomar los datos con el sensor de viento y el dron, fue iniciada y terminada en vuelo.

4.3. Resultados

Cabe señalar que las medidas obtenidas y representadas se encuentran en función de la unidad de fuerza G, es decir, la gravedad. Se ha mantenido así por mayor claridad y unificación con los sistemas de aceleración estudiados; no obstante, se indica en la ecuación 4.1a la conversión necesaria para poder pasarlo al **Sistema Internacional (SI)** de unidades.

Las pruebas realizadas se han hecho con el dron volando e iniciando el software de recogida de datos en vuelo; los datos obtenidos mediante la serie de pruebas descritas en el apartado 4.2 son los representados en las siguientes imágenes: 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.9.

$$1 G = 9,807 \text{ m s}^{-2} \quad (4.1a)$$

$$1 N = 1 \text{ Kg m s}^{-2} \quad (4.1b)$$

Para convertir a **Newton (N)** de fuerza, se debe multiplicar usando la fórmula 4.1b por el peso del dron, indicado en la sección 3.1.

En la figura 4.2 se puede observar 3 gráficas con una serie de puntos negros, la resolución del acelerómetro, y una línea roja describiendo una pseudofunción del comportamiento de la gráfica. Cada una de las gráficas representa un eje distinto de acción, siendo la primera el eje X, la segunda el eje Y y la última el eje Z. En cada una de las gráficas esta dibujada una recta roja, la cual representa el punto de reposo o base del acelerómetro. Tanto en el eje X como en el Y el punto de reposo se encuentra una recta con función $y=0$, pero en el eje Z una función $y=1$. Este último eje, siempre ejerce 1 G de

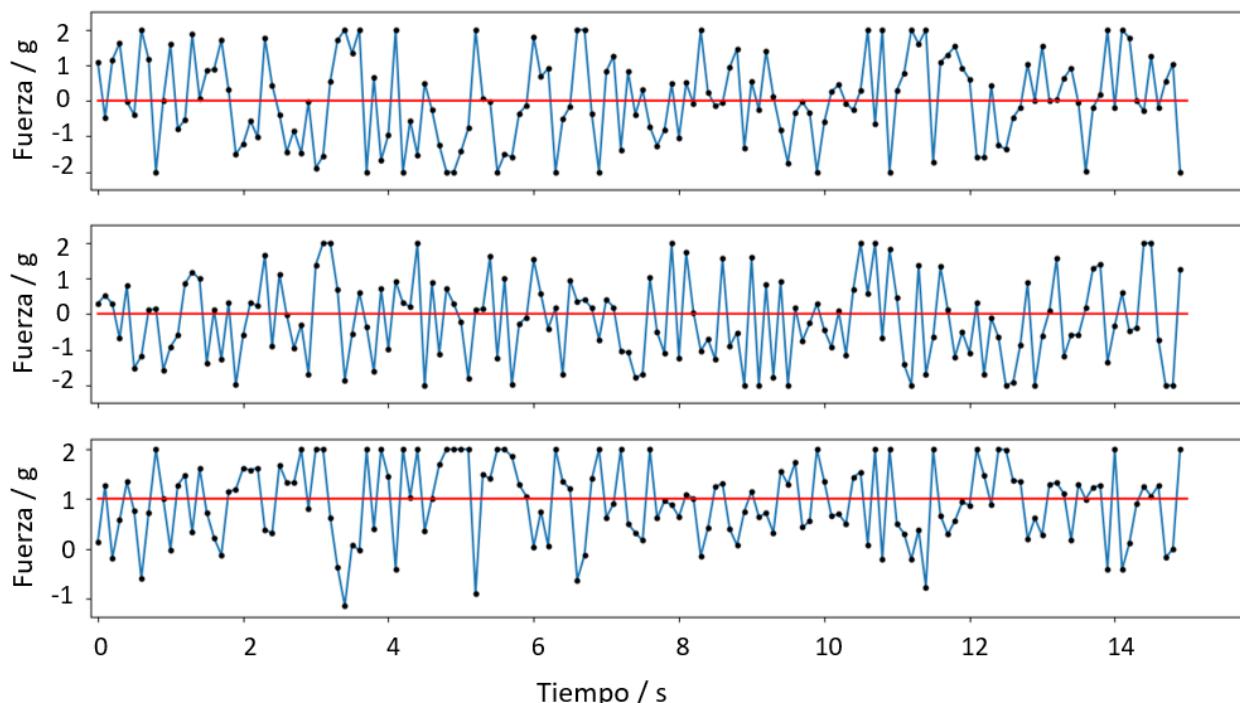


Figura 4.2: Aceleración en fuerza G que sufren los 3 ejes cartesianos. Cada gráfica representa un eje: gráfica superior eje X, medio eje Y e inferior eje Z. Las rectas rojas indican el punto de reposo de cada eje.

fuerza en estado de reposo ya que es la fuerza que contrapone a la tierra para mantenerse en pie.

En la figura 4.3 se puede observar el conjunto de puntos tomados equivalentes a la figura 4.2 pero representados en función de su orientación y de su fuerza, indicando su magnitud en los ejes X e Y. La función aproximada de este conjunto se ve representada por la recta en rojo, con su función indicada en la gráfica.

En el mapa de calor expuesto en la figura 4.4 se puede observar la concentración de los datos entorno a $\pm 0,5$ en el eje Y y $\pm 0,5$ en el eje X, con una ligera desviación en el margen derecho de la representación. Se puede apreciar que no había apenas viento dado que los datos pueden registrar valores máximos de ± 4 G y aquí solo se aprecia un rango de 0,1 G en ambos ejes.

En gráfica de la figura 4.4 se han representado la variación de los datos aplicando un zoom para poder apreciar mejor su concentración, no obstante en la figura 4.5 se representan sin aplicar ningún zoom para apreciar su relación con sus posibles valores máximos y mínimos.

Los datos observados en las gráficas 4.4, 4.5, 4.3 y 4.2 corresponden al mismo conjunto de datos pero con 4 posibles representaciones.

En la figura 4.6 se observa un conjunto de datos tomados en 4 veces. Este conjunto de datos se ha tomado en el gimnasio IES Valle Inclán ilustrado en el plano ?? a una altura de 50 cm. Se puede observar la dirección del viento, proveniente de la pared inferior de 10 m. El foco del viento está situado

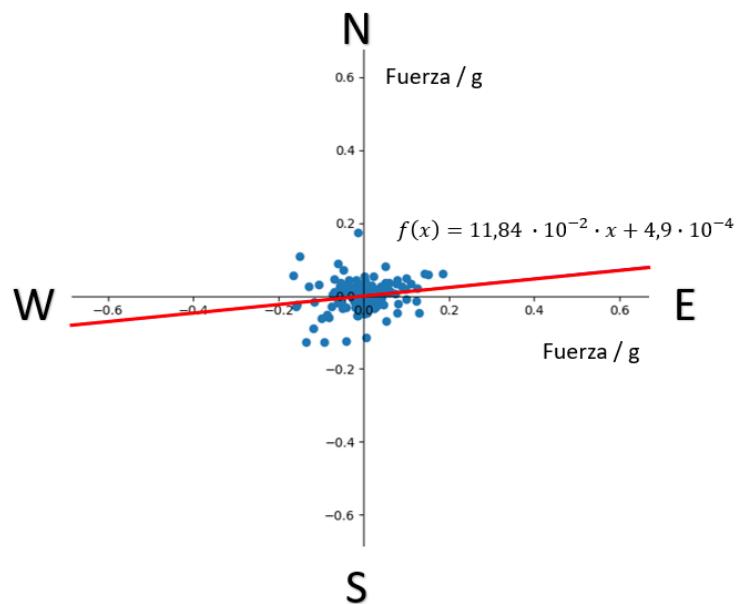


Figura 4.3: Puntos tomados en función de su orientación y en fuerza G. La recta roja indica la representación aproximada de los datos, dirección.

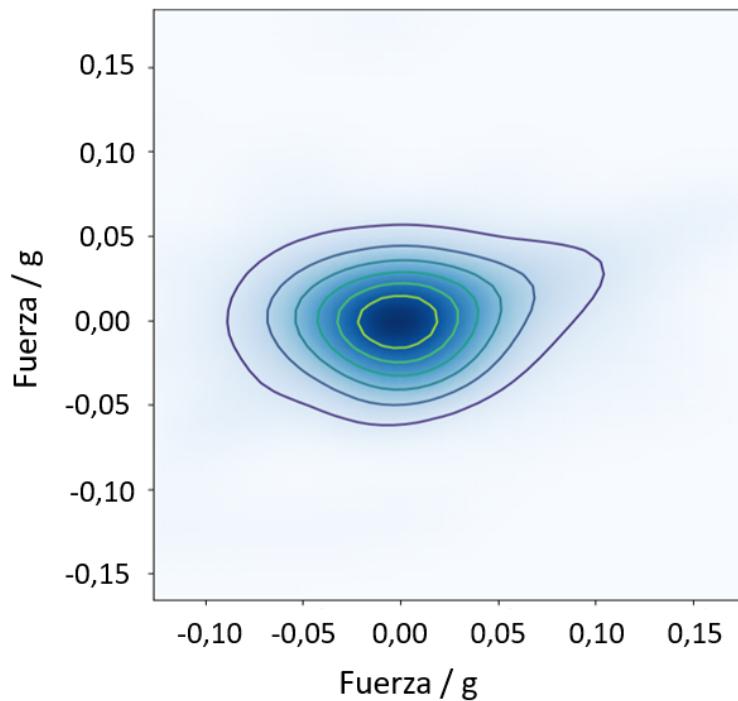


Figura 4.4: Mapa de calor con representación de concentración de puntos delimitados con isobaras.

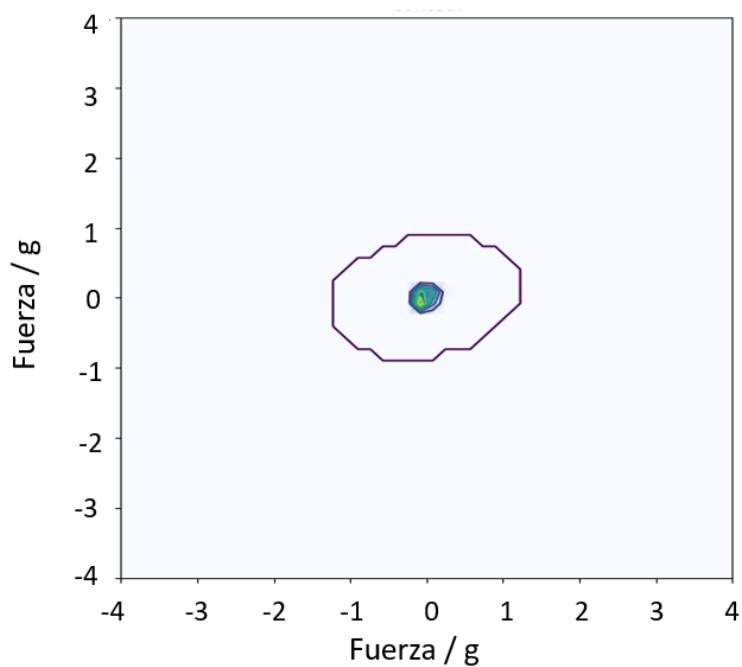


Figura 4.5: Mapa de calor con escala máxima de +/- 4 G. Se puede observar que no hay casi variación y la concentración de los puntos está entorno al origen de la gráfica.

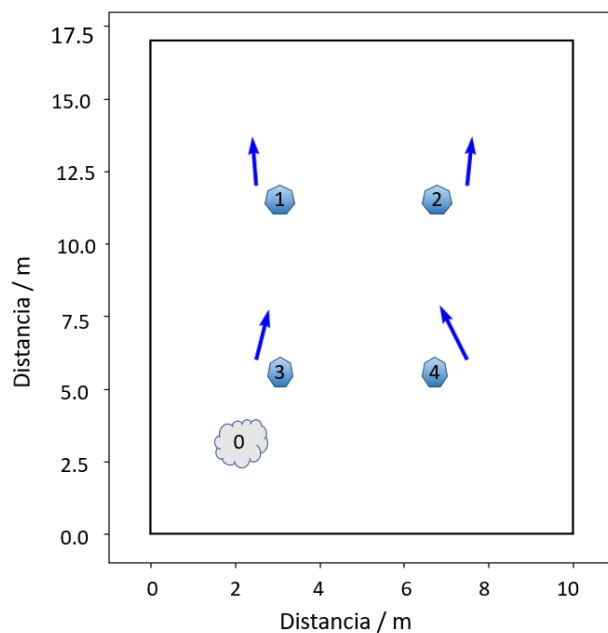


Figura 4.6: Vectores de dirección de viento, en los puntos 1,2,3,4 con un foco de viento situado en el punto 0.

en el punto 0 representado; aunque en el punto 4 no debería tener esa dirección, la puerta del almacén afectó a la toma de las medidas, creando una circulación de aire desde dicha puerta hasta la puerta principal situada en el centro de la sala.

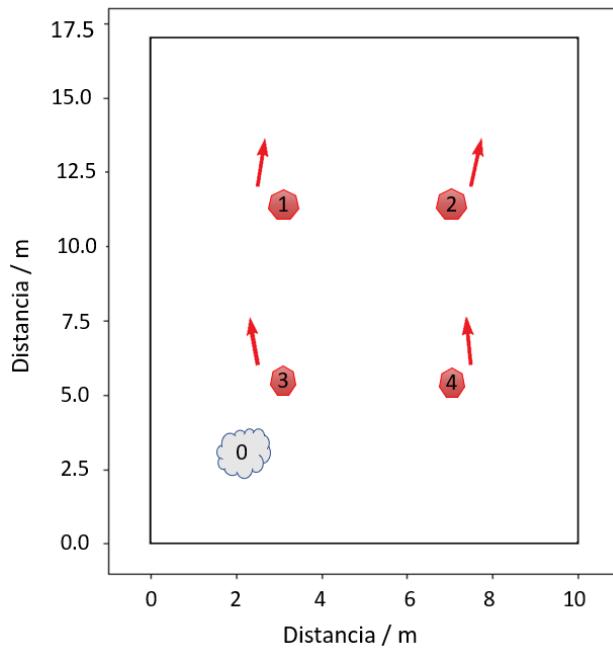


Figura 4.7: Observamos ahora el plano superior de la toma de datos en forma de matriz. Se muestra dirección y magnitud.

Al igual que en la figura 4.6 del plano z0, hay una toma de datos para el plano z1 4.7 con una altura aproximada de 2,5 m. Se puede observar una dirección similar a la vista en la figura 4.6.

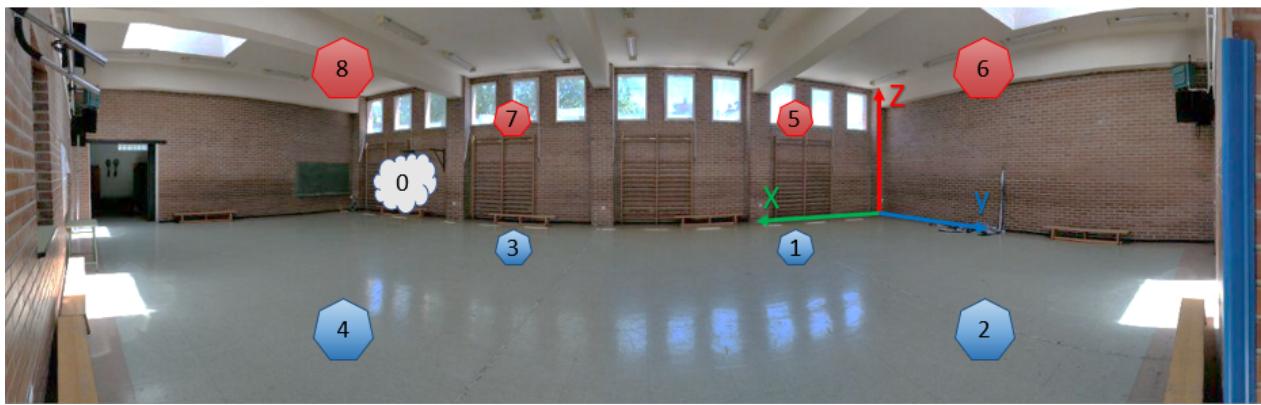


Figura 4.8: Foto panorámica del gimnasio desde la puerta principal. Puntos de toma de datos representados acorde con las figuras 4.1 y 4.9.

En la foto 4.8 se indican los puntos de toma de datos con el foco de viento y está representado el eje de coordenadas en la esquina inferior derecha. Estos puntos son los que se han cogido como referencia a la hora de tomar los datos y posteriormente representarlos en las gráficas de esta sección.

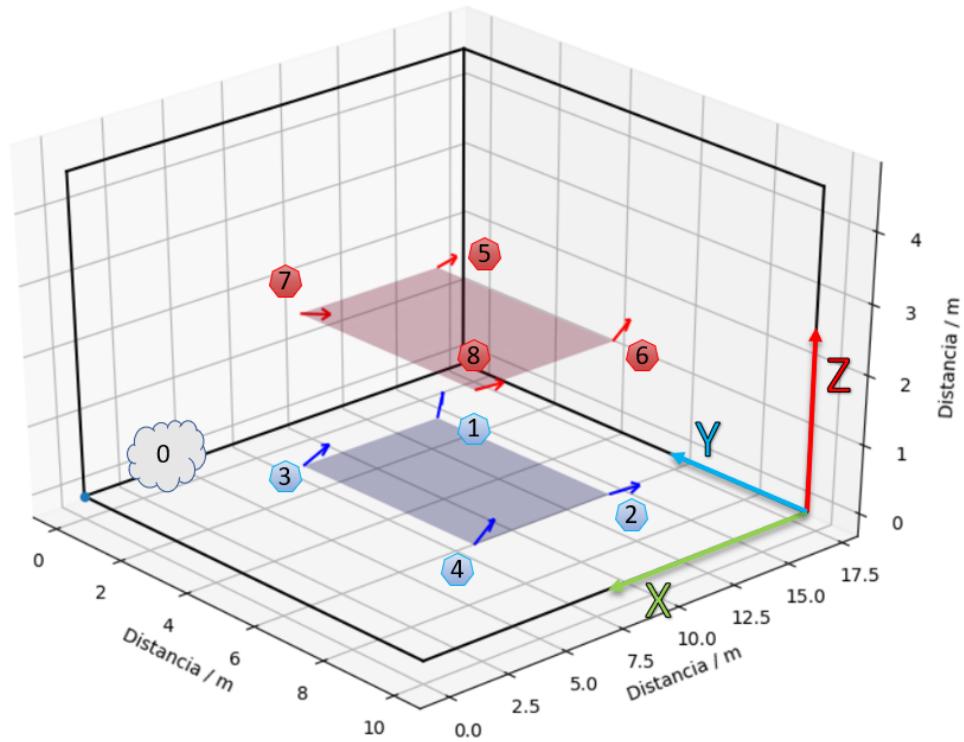


Figura 4.9: En esta gráfica 3D se representa virtualmente la imagen 4.8 concordando los puntos indicados y el foco de viento

Como se puede observar, en ambos planos aparecen 4 vectores que están enfocando hacia la misma dirección con diferentes módulos, indicando la fuerza del viento en ese punto. Se puede apreciar también la altura que toma el vector, obteniendo así un módulo de acuerdo a un modulo de 3 componentes, X, Y y Z.

CONCLUSIÓN

La realización del estudio del viento con tecnologías mas modernas se puede calificar de superficial por la gran variedad de sensores que existen hoy en día. Utilizando como sensor principal el sensor MPU9250, ha proporcionado unas medidas bastante exactas en cuanto a dirección y evolución del viento, no obstante habría que comparar la fuerza del viento medida con un sistema ya probado y afianzado como un anemómetro descrito en la sección 3.2.

Como se puede observar en las gráficas expuestas en 4.3 hay una variación acorde con el foco de viento generado, lo cual corrobora el trabajo realizado.

Para continuar con este estudio y obtener mejores resultados, se debería probar un dron con ambos sistemas de estabilización y obtener los datos tanto de un sensor como el utilizado como de la potencia suministrada a los motores para mantenerse sobre un mismo punto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Oscar Serrano, “Variador electrónico (ESC): Qué es y cómo funciona | FpvMax.”
- [2] A. Industries, “PCA9685 Adafruit.”
- [3] Eric, “No Title,” 2017.
- [4] C. Tropea, “Laser doppler anemometry: Recent developments and future challenges,” *Measurement Science and Technology*, vol. 6, no. 6, pp. 605–619, 1995.
- [5] J. V. Noble, D. J. D. S. Price, J. V. Noble, D. J. D. E. S. Price, J. Stuart, and N. Revett, “The Water Clock in the Tower of the Winds Linked references are available on JSTOR for this article : The Water Clock in the Tower of the Winds,” *Article*, vol. 72, no. 4, pp. 345–355, 2019.
- [6] J. Mur, “Master Europeo en Energías Renovables y Eficiencia Energética,” *Measurement Science and Technology*, 2012.
- [7] I. Act, “ACT Profile Report: State. Graduating Class 2012. Montana,” 2012.
- [8] 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.
- [9] “eCalc.,” 2019.

DEFINICIONES

ACRÓNIMOS

APÉNDICES

A

ESTUDIO TÉCNICO DE COMPONENTES

PARA DRON

He realizado numerosas configuraciones para estabilizar tiempo de vuelo y carga máxima del dron, obteniendo el mejor resultado en la imagen de a continuación A.1.



Figura A.1: En esta imagen se muestran los datos obtenidos mediante una herramienta de internet, eCalc [9], para el estudio de componentes para dron.

CÓDIGO DISEÑADO PARA PLACA

CONTROLADORA

Para el control del dron, he tenido que iniciar varios sistemas estructurandolos en recepción, gestión y emisión; estos sistemas se ven en la figura B.1 como S1, S2 y S3.

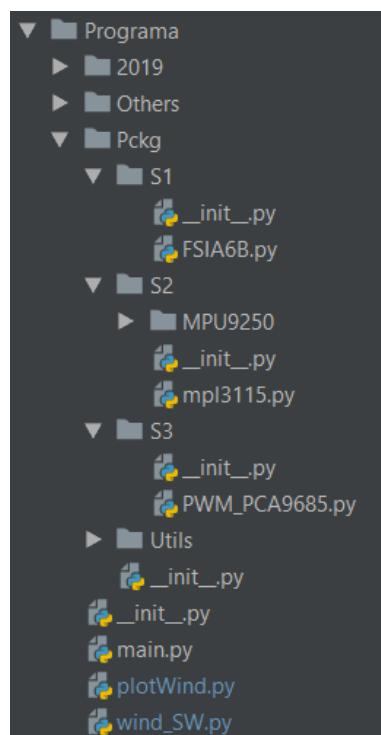


Figura B.1: Estructura de programa controlador de vuelo

Código B.1: Se muestra el main despues de incluir todas las librerias oportunas.

```

11 if __name__ == '__main__':
12
13     #Comunicaciones
14     port = serial.Serial("/dev/ttyS0", parity=serial.PARITY_NONE, stopbits=serial.STOPBITS_ONE,
15                           baudrate=115200)
16     s1_fsia6b = FSIA6B.FSIA6B(port)
17
18     #Sensores
19     mpu9250 = MPU9250_lib.MPU9250()
20
21     #Motores
22     #Establecemos la frecuencia del pwm a 2000Hz (1560Hz en output)
23     pwm = PWM_PCA9685.PWM_PCA9685(2000)
24
25     mpu6050Sensor = MPU6050.MPU6050(1,0x68)
26
27     mpu6050Sensor.dmp_initialize()
28     mpu6050Sensor.set_DMP_enabled(True)
29
30     entrada = input("Desea calibrar el gyroskopio[1] o cargar la anterior configuración[2]?\\nTenga en cuenta que la orientación puede cambiar:\\n")
31     if entrada == '1':
32         calibracion = mpu6050Sensor.calibrarGyro()
33     elif entrada == '2':
34         mpu6050Sensor.setGyroOffset(0.5238688792890147, 2.561511257439358 ,-6.6875060365656696)
35
36     barometer = mpl3115.MPL3115()
37     barometer.config(True,102200)
38
39     print("Open:", port.is_open)
40     port.reset_input_buffer()
41     error = 0
42     while True:
43         try:
44             channels = s1_fsia6b.getChannelsFromReceiver()
45         except:
46             print("ERROR CHANNELS", channels)
47             print("Error en Comunicacion-----")
48             print("COMUNICACION!!!!!!")
49             print("Settings:", port.get_settings())
50
51             channels = [1500, 1500, 1000, 1500, 1000, 1000]
52             sleep(5)
53             error = 1
54
55             altimetro = barometer.read_data()
56             # Cambiar lectura de mpu9250
57             # sensores = mpu9250.readSensoresConCalibracion()
58             sensores = mpu6050Sensor.readSensoresConCalibracion()
59             pwm.setDutyPWM_Dron(channels,sensores,altimetro['alt'])
60
61             try:
62                 port.reset_input_buffer()
63             except:
64                 pass

```

CÓDIGO DE REGISTRO DEL VIENTO

Para las pruebas realizadas he diseñado y codificado un programa en python con dos métodos de registro de datos. El primero para una sola toma y el segundo para un conjunto de datos, definidos como una matriz. Para ambos métodos se ha de indicar al inicio del programa el tiempo de medición, tomando por cada segundo un total de 10 muestras, este número se puede incrementar o disminuir.

Código C.1: En este código se muestra el protocolo del main para registrar las medidas en sus dos modos, una sola toma de datos o varias.

```

1  if __name__ == '__main__':
2      confirmacion = "n"
3
4      print("Tomar una o varias medidas:\n\t1-Una medida\n\t2-Varias medidas")
5      opcion = input("\nOpcion:")
6      if int(opcion) == 1:
7          print("\nTomar una sola medida seleccionado")
8      elif int(opcion) == 2:
9          print("\nTomar varias medidas seleccionado")
10     while confirmacion == 'n':
11         filas = input("Indique el numero de filas:")
12         columnas = input("Indique el numero de columnas:")
13         alturas = input("Indique el numero de alturas:")
14
15
16         print("Desea hacer una medicion de:", filas, "x", columnas, "x", alturas, "?")
17         confirmacion = raw_input("Yes(Y) - No(n)")
18         if confirmacion == 'n' or confirmacion == 'N':
19             print("\n\nIndique de nuevo las medidas.")
20
21         tiempo = raw_input("Indique el tiempo de medida (default=10s):")
22         if tiempo == '':
23             tiempo = 10
24         print("Tiempo de medicion:", tiempo, "seg")
25
26
27         wm = WindMeasure(tiempo)
28
29         if int(opcion) == 1:
30             print("Inicio de toma de medida iniciado...")
31             wm.registrar_medidas()
32         elif int(opcion) == 2:
33             print("Inicio de toma de medidas iniciado...")
34             for h in range(alturas):
35                 for row in range(filas):
36                     for col in range(columnas):
37                         wm.registrar_medidas()
38
39         print("Fin de toma de datos")

```