



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

CUADRICOPTERO PARA SEGUIMIENTO DE OBJETOS

Autor: Patricia Domínguez González
Director: Robert Spalletta

Madrid
Julio 2016



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1°. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Patricia Domínguez González
DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: CUADRICÓPTERO PARA SEGUIMIENTO DE OBJETOS,
que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2°. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3°. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar "marcas de agua" o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4°. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5°. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 19 de Julio de 2016

ACEPTA

Fdo. 

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Cuadricóptero para seguimiento de objetos
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2015-2016 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Patricia Domínguez González

Fecha://

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Robert Spalletta

Fecha://

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: Álvaro Sánchez Miralles

Fecha://



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

CUADRICOPTERO PARA SEGUIMIENTO DE OBJETOS

Autor: Patricia Domínguez González
Director: Robert Spalletta

Madrid
Julio 2016



CUADRICOPTERO PARA SEGUIMIENTO DE OBJETOS

Autor: Domínguez González, Patricia

Director: Spalletta, Robert

Entidad colaboradora: The University of Scranton

RESUMEN

Introducción

En este proyecto se pretende el desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado con cuatro hélices, un cuadricóptero, que de forma autónoma realice una trayectoria de vuelo siguiendo a un objeto. Para ello, se utilizara una cámara con la capacidad de detectar objetos que conectada a un microcontrolador que sea capaz de procesar las imágenes y generar las señales necesarias.

Los VANT (vehículos aéreos no tripulados), también conocidos como drones, han aumentado su popularidad en los últimos años, abriéndose camino cada vez más en aplicaciones civiles. Esta popularidad se debe a su pequeño tamaño, su capacidad para volar y la diversidad de equipos que pueden cargar para realizar diferentes funciones. Estos productos son cada vez más económicos, lo que los hace accesible a cualquier persona, que simplemente obteniendo una licencia de piloto de drones puede hacerse con uno.

Una de las aplicaciones más extendidas es la audiovisual, incorporar una cámara para grabar diferentes escenas, entre ello es muy popular grabar escenas de deportes.

Con todo esto, la motivación de poder construir uno de estos vehículos que sea capaz de seguir a una persona y grabarle mientras realiza su deporte favorito ha llevado a la realización de este proyecto.

Objetivos

Como objetivos se tiene la construcción de un cuadricóptero, probar su capacidad de vuelo, y crear un sistema compuesto por este, la cámara de reconocimiento de objetos y un microcontrolador. Se ha de conseguir detectar objetos y crear un programa de seguimientos para que el cuadricóptero siga al objeto.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto primero se ha montado el cuadricóptero y conectado todos los elementos. Como para implementar el cuadricóptero en el sistema con la cámara y el microprocesador hay que conocer como son las señales, con la ayuda de un osciloscopio se ha comprobado que la señal que el receptor manda al controlador de vuelo consiste en modulación por ancho de pulsos, o PWM.

Para el reconocimiento de objetos se ha decidido usar la cámara Pixy CMUcam5, un sensor de colores, que es capaz de detectar hasta siete objetos de diferentes colores simultáneamente.

Esta cámara está adaptada para conectarse directamente al microcontrolador, como al Arduino, lo que ha llevado a escoger este como microcontrolador. Esta le envía la información al microcontrolador de las coordenadas x e y del centro del objeto, así como sus medidas de altura y ancho.

Para detectar objetos con la cámara hay que descargar el programa PixyMon, en el ordenador y conectar la cámara, esta comenzara a grabar y con la ayuda del software se puede “enseñar” el objeto deseado que quedara guardado.

Para el programa de seguimiento hay que considerar la información que la cámara manda al microcontrolador, así como los mandos de vuelo para manejar el vehículo.

Resultados y experimentos

Se han realizado diferentes pruebas y experimentos. La primera ha consistido en probar la capacidad de vuelo del cuadricóptero. Después de montar el cuadricóptero, se ha usado el programa Cleanflight para descargar el software del controlador aéreo, y usando un radiotransmisor y un receptor se ha probado la capacidad de vuelo de este. Hubo que ajustar los parámetros del PID a la carga que teníamos para evitar las oscilaciones al volar. Otra prueba que se hizo fue comprobar que la cámara que se había adquirido detectaba correctamente los objetos. Se comprobó la capacidad de esta y sus limitaciones. También, para comprobar que el microcontrolador escogido era capaz de generar las señales necesarias al controlador de vuelo. Se conectó este entre el receptor y el controlador de vuelo, cortando cables y volviendo a soldar otros, y se puso el cuadricóptero en funcionamiento.

Conclusiones

Se han realizado todas las pruebas y experimentos con éxito, sin embargo el proyecto no ha quedado totalmente completado, ya que el cuadricóptero no vuela siguiendo a los

objetos, que era uno de los objetivos. No obstante, se han adquirido muchos conocimientos en diferentes campos de la ingeniería, sobre cómo gestionar un proyecto y trabajar en grupo, por lo que no se puede considerar como un fracaso.

Bibliografía

- [1] Newsela (2015) *Drones ponen en peligro la labor de los bomberos*. Recuperado de <https://newsela.com>
- [2] Hemav (2015) *El mercado de los drones alcanzara la friolera de 4800 millones de dólares en 2021*. Recuperado de <http://blog.hemav.com/>
- [3] Manuel González Pascual (2016) *Los drones, la conquista del mercado laboral*. Recuperado de <http://cincodias.com>
- [4] Charmed Labs. <http://charmedlabs.com/default/pixy-cmucam5/>
- [5] «aeronave no pilotada». *Diccionario Español de Ingeniería* (1.0 edición). Real Academia de Ingeniería de España. 2014. Consultado el 29 de mayo de 2014.
- [6] *How to flight a quadcopter* (2014) Recuperado de <http://myfirstdrone.com>

TRACKING OBJECTS QUADCOPTER

Author: Dominguez Gonzalez, Patricia

Director: Spalletta, Robert

Associates: The University of Scranton

ABSTRACT

Introduction

The objective of this project is the development of an unmanned aerial vehicle with four propellers, a quadcopter, which autonomously flies following an object. For that, a camera with the capability of detecting objects connected to a microcontroller with the ability of processing the images and generate the required signals is going to be used.

The UAE (unmanned aerial vehicle), also known as drones, have increased their popularity in the past few years, being more present every day on civil applications. Their popularity comes with their small size, their flight capability and the diversity of equipment that can carry on for different functions. This products are becoming more and more economic, what makes them more accessible to the public that just with a drone license can buy and use one.

One of the main applications of drones is the audiovisual, to incorporate a camera to take pictures and record different scenes, and specially recording sport scenes has become very popular.

With this, being able to make one of this aircrafts that has the capability of follow a person and record him while he's doing his favorite sport has been the motivation of this project.

Objectives

The objectives of this project are the construction of a quadcopter, trying its flight capability, and creating a system with an object recognition camera and a microcontroller, that can detect objects and make the quadcopter fly following them.

Methodology

For the development of the project first the quadcopter has been constructed and connected all their components. As to implement it on the system with the camera and the microcontroller it was needed to know how the signals are, using an oscilloscope it has been checked the nature of the signals the receiver send to the flight controller, that is PWM.

For the object recognition the camera Pixy CMUcam5 has been chosen, a color sensor which is able to detect simultaneously seven objects of different colors.

This camera can connect directly to the microcontroller, like Arduino, what lead to the decision of choose that model of microcontroller. The camera sends the information to the microcontroller of the x and y coordinates of the center of the object, and also it width and height.

In order to detect objects with the camera the software Pixymon has to be downloaded. With this program running on the computer and the camera connected to it, the camera can “learn” the object with the interest to follow.

For the tracking program there are some considerations like how is the information that the camera sends to the microcontroller, the flight controls and the nature of the signals.

Results and experiments

Several tests and experiments have been completed. The first one was trying the flight capability of the quadcopter. Right after constructing the quadcopter, with the help of the program Claeanflight to download the required software on the flight controller, and using a radio transmitter and a receiver the flight capability has been tested. The parameters of the PID needed to be changed in order to avoid the oscillations while flying. The second experiment consisted on testing the object recognition of the camera. It was verified and the limitations of it. Finally, it has to be tested the capability of the microcontroller for generating the signals required to the flight controller. It was connected between the receiver and the flight controller, cutting wires and welding again, and the making the quadcopter work.

Conclusions

All the experiments have been done successfully, however the project hasn't been totally completed, the quadcopter isn't capable to fly following the objects. Nevertheless a lot of knowledge about different engineering fields, how to manage a project and work in groups has been learnt.

Bibliography

- [1] Newsela (2015) *Drones ponen en peligro la labor de los bomberos*. Recuperado de <https://newsela.com>
- [2] Hemav (2015) *El mercado de los drones alcanzara la friolera de 4800 millones de dólares en 2021*. Recuperado de <http://blog.hemav.com/>
- [3] Manuel González Pascual (2016) *Los drones, la conquista del mercado laboral*. Recuperado de <http://cincodias.com>
- [4] Charmed Labs. <http://charmedlabs.com/default/pixy-cmucam5/>
- [5] «aeronave no pilotada». *Diccionario Español de Ingeniería* (1.0 edición). Real Academia de Ingeniería de España. 2014. Consultado el 29 de mayo de 2014.
- [6] *How to flight a quadcopter* (2014) Recuperado de <http://myfirstdrone.com>



Índice de la memoria

Parte I	Memoria.....	2
Capítulo 1	Introducción	4
1.1	Estudio de los trabajos existentes / tecnologías existentes	4
1.2	Motivación del proyecto.....	6
1.3	Objetivos.....	7
1.4	Metodología / Solución desarrollada	8
1.5	Recursos / herramientas empleadas.....	8
Capítulo 2	Solución desarrollada.....	10
2.1	Hardware	10
2.1.1	Cuadricóptero.....	10
2.1.1.1	Montaje	10
2.1.1.2	Implementación	12
2.1.2	Cámara	13
2.1.3	Esquema de conexión.....	17
2.2	Software.....	18
2.2.1	Reconocimiento de objetos	18
2.2.2	Seguimiento de los objetos.....	21
2.2.2.1	Mandos de vuelo	21
2.2.2.2	Cámara con microcontrolador	22
2.2.2.3	Programa	23
Capítulo 3	Resultados/Experimentos	25
3.1	Capacidad de vuelo	25
3.2	Reconocimiento de objetos.....	27



3.3	Pruebas con el microcontrolador	27
<i>Capítulo 4</i>	<i>Conclusiones</i>	29
<i>Capítulo 5</i>	<i>Futuros desarrollos</i>	31
<i>Bibliografía</i>	33	
<i>Parte II</i>	<i>Estudio económico</i>	35
<i>Capítulo 1</i>	<i>Mediciones</i>	37
1.1	Componentes.....	37
1.2	Software.....	38
1.3	Herramientas y equipos	38
1.4	Mano de obra directa	39
<i>Capítulo 2</i>	<i>Precios unitarios</i>	41
2.1	Componentes.....	41
2.2	Software.....	42
2.3	Herramientas y equipos	42
2.4	Mano de obra directa	43
<i>Capítulo 3</i>	<i>Sumas parciales</i>	45
3.1	Componentes.....	45
3.2	Software.....	46
3.3	Herramientas y equipos	46
3.4	Mano de obra directa	47
<i>Capítulo 4</i>	<i>Presupuesto general</i>	49
<i>Parte III</i>	<i>Código fuente</i>	51
<i>Capítulo 1</i>	<i>Código fuente prueba 1</i>	53
<i>Parte IV</i>	<i>Datasheets</i>	56
<i>Capítulo 1</i>	<i>Lista datasheets</i>	58



Índice de figuras

Figura 1. Gráfico aumento venta drones	5
Figura 2. Cuadricóptero con cámara	6
Figura 3. Escena deporte de acción	7
Figura 4. Speed controller	11
Figura 5. Cuadricóptero montado.....	12
Figura 6. Ejemplo PWM	13
Figura 7. Cámara Pixy CMUcam5	14
Figura 8. Conexión en al Arduino	15
Figura 9. Conexión en la cámara.....	15
Figura 10. Conexión cámara y Arduino	16
Figura 11. Vista trasera de la cámara	16
Figura 12. Conexión del sistema	17
Figura 13. Interfaz PixyMon con objeto detectado	19
Figura 14. Detección de objeto.....	20
Figura 15. Objeto detectado	20
Figura 16. Mandos de vuelo	22
Figura 17. Página inicio del programa Cleanflight.	26
Figura 18. Programa Clenaflight.	26
Figura 19. Microcontrolador conectado para prueba.	28



Índice de tablas

Tabla 1. Medición de componentes.....	37
Tabla 2. Medición de software	38
Tabla 3. Medición de herramientas y equipos.....	38
Tabla 4. Medición de mano de obra directa	39
Tabla 5. Precio unitario de componentes	41
Tabla 6. Precio unitario de software.....	42
Tabla 7. Precio unitario de herramientas y equipos	42
Tabla 8. Precio unitario de mano de obra.....	43
Tabla 9. Sumas parciales de componentes	45
Tabla 10. Sumas parciales de software	46
Tabla 11. Sumas parciales de herramientas y equipos	47
Tabla 12. Sumas parciales de mano de obra	47
Tabla 13. Presupuesto general.....	49
Tabla 14. Presupuesto general en euros	49
Tabla 15. Lista datasheets	58



Parte I MEMORIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Introducción



Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

En este proyecto se pretende el desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado compuesto por cuatro hélices, también llamado cuadricóptero, autónomo que sea capaz de seguir una persona u objeto para grabar escenas de deportes sin necesidad de asistencia humana. Para ello se ha creado un sistema con una cámara con la capacidad de detectar objetos y conocer la posición de estos en todo momento y otra cámara adicional para grabar. El usuario de este solo tendrá que enseñar el objeto a la cámara y automáticamente el cuadricóptero lo seguirá de cerca.

1.1 ESTUDIO DE LOS TRABAJOS EXISTENTES / TECNOLOGÍAS EXISTENTES

Un cuadricóptero es un tipo de dron, o vehículo aéreo no tripulado (VANT) que se caracteriza por tener cuatro motores que lo propulsan. Los VANT o drones son definidos como un vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido. Estos tienen un uso tanto militar como civil.

En los últimos años la popularidad de los drones ha aumentado considerablemente. El mercado de drones civiles ha aumentado, generando en el año 2014 15,2 millones de dólares, y se espera que para el año 2020 suba a 1270 millones, según un informe de MarketsandMarkets.

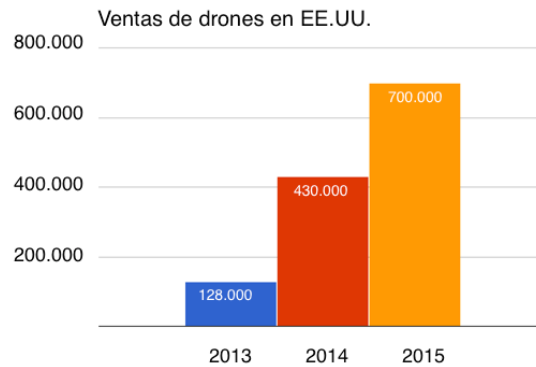


Figura 1. Gráfico aumento venta drones

El tamaño, su capacidad para volar y la diversidad de equipos que pueden cargar y realizar diferentes misiones son los factores que han influido en esta popularidad y en el crecimiento en su uso en diferentes ámbitos.

Con el auge de este mercado cada vez se crean productos más económicos y adaptados para su uso civil, haciendo que sea más accesible para cualquier persona adquirir un dron y darle diferentes usos, aparte de para un uso particular, muchas empresas y negocios han empezado a usarlos.

No obstante, la legislación para el uso de estos aparatos es bastante restrictiva: no está permitido volar sobre zonas pobladas, ni aglomeraciones de personas, también siendo necesario obtener una licencia para poder manejarlos.

La aplicación más extendida, actualmente para los drones, es la audiovisual. Se estima que alrededor del 90% de los operadores de estos aparatos se dedican a esto. No es raro que se haya dado este auge mencionado previamente del uso de drones para grabar estas escenas de deportes.



Figura 2. Cuadricóptero con cámara

En muchas situaciones, los drones no necesitan piloto y son capaces de realizar diversas funciones automáticamente.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Grabar deportes de acción se ha convertido en una actividad muy popular tanto entre amateurs como profesionales de dichos deportes. Con la llegada de las cámaras de acción, surge la posibilidad de filmar en escenarios que con las cámaras tradicionales no era viable. El crecimiento de esta moda ha llamado la atención de las compañías del sector, y el diseño de nuevos productos ha aumentado para aumentar la competitividad en el mercado.

Mucha gente decide poner su cámara en bicicletas, snow boards y otro tipo de equipamientos. La utilización de drones para realizar esta función de grabar se ha convertido en una opción muy popular: la tecnología de estos les permite volar llevando incorporados una cámara para filmar. Las posiciones que puede alcanzar y la diversidad de movimientos hacen que las imágenes captadas puedan ser desde un mayor número de ángulos y objetos en movimiento con una mayor eficacia que con otros métodos tradicionales. Este método de filmación es muy común en eventos deportivos de gran importancia, que son emitidos por la televisión.



Figura 3. Escena deporte de acción

Pero ¿Y si la cámara pudiera seguirte y grabarte? Así es como surgió la idea de crear un sistema de un cuadricoptero que vuele de forma autónoma y con la capacidad de detectar el objeto/persona que se desea grabar para seguirlo.

1.3 OBJETIVOS

El proyecto busca cumplir una serie de objetivos:

- Montar un cuadricóptero y conseguir un vuelo estable, ajustando los parámetros del control PID según las diferentes cargas que vayamos a necesitar cargar para nuestro proyecto.



- Realizar un programa que procese las señales de la cámara y generar acorde a estas señales de salida similares a las de un radio transmisor para indicar los movimientos que el dron debe realizar.

1.4 METODOLOGÍA / SOLUCIÓN DESARROLLADA

Para cumplir los objetivos se llevaran a cabo las siguientes tareas:

- Construcción del cuadricóptero con todos los componentes
- Con el uso del radiotransmisor y del receptor, comprobar que el cuadricóptero vuelo de forma manual.
- Instalar el software de la cámara de reconocimiento de objetos y enseñarle a detectarlos.
- Comprobar que el microprocesador es capaz de transmitir las señales necesarias, colocándolo entre el receptor y el controlador de vuelo y comprobando su correcto funcionamiento.
- Realizar el programa que comunique entre cámara y controlador de vuelo, para generar las señales necesarias para el vuelo acorde con las señales de la posición del objeto que indica la cámara.

1.5 RECURSOS / HERRAMIENTAS EMPLEADAS

Los diferentes recursos empleados han sido tanto de hardware como de software:

Hardware

- Microcontrolador Arduino Mega 2560



- Marco de cuadricóptero modelo QAV250
- 4 motores sin escobillas
- 8 hélices
- Batería de 4 voltios
- Controlador de vuelo Naze32
- Cuadro de distribución eléctrica
- 4 speed controllers
- Cámara PixyCam
- Radiotransmisor
- Recibidor

Software:

- PixyMon, programa para utilizar PixyCam
- Arduino software
- Programa Cleanflight

Cabe destacar que la cámara PixyCam y el software necesario para utilizarla PixyMon, están desarrollados por la empresa Charmed Labs, empresa que se dedica al desarrollo de tecnologías en robótica. Los productos que desarrollan son open source, y de fácil de usar para gente sin grandes conocimientos en el campo de la ingeniería. Así, el hardware y el software de esta cámara están aún en desarrollo, pero las características que presentan actualmente es suficiente para el desarrollo del proyecto.



Capítulo 2 SOLUCIÓN DESARROLLADA

2.1 *HARDWARE*

El hardware de este proyecto está compuesto por dos principales elementos: el cuadricóptero y la cámara. Además, para la conexión entre ambos habrá un microcontrolador.

El cuadricóptero es la parte del sistema que provee al proyecto de la capacidad de vuelo, y la cámara permite la detección de los objetos.

2.1.1 CUADRICÓPTERO

Como ya se ha mencionado antes, el cuadricóptero es la parte del sistema que estamos creando que se encargara de dar la sustentación de vuelo y los movimientos necesarios para seguir la trayectoria de vuelo requerida. Para su montaje, se han comprado las diferentes piezas que lo forman por separado, eligiendo así los modelos y características de cada una de ellas que más nos convenían para realizar el proyecto y no teniendo que comprar uno previamente montado.

2.1.1.1 *Montaje*

El cuadricóptero está formado por un marco que sujeta todos los componentes que lo hacen funcionar. Este marco está formado por G10, material formado principalmente por fibra de carbono que dota a la plataforma de una alta



resistencia y ligereza, y mide 250mm de diámetro (medida diagonal entre ambos extremos del marco).

Para dotar a la plataforma de la sustentación necesaria para transportar todo el equipamiento, se han escogido motores eléctricos sin escobillas (brushless motors). Estos se colocaran en los cuatro extremos del marco, que tiene adaptado el hueco necesario para montarlos.

Cada uno de los motores se conecta a un speed controller, o ESC, que se encargan de controlar y variar la velocidad de giro de los estos. Estos a su vez están conectados al controlador de vuelo principal, el cual se ha escogido el modelo Naze32.



Figura 4.Speed controller

El controlador de vuelo permite estabilizar la plataforma usando un control PID, mediante el cambio de los parámetros K, D y ξ de este para ajustar el sistema a las diferentes cargas que se vayan a colocar para el correcto funcionamiento del sistema. Estas cargas, a parte de los componentes del cuadricóptero, estarán compuestas por la cámara de detección de objetos, el microcontrolador, y la cámara para grabar. A lo largo del proyecto se irán haciendo diferentes pruebas de vuelo, con diferentes cargas, por lo que será necesario ajustar estos parámetros para que las oscilaciones del sistema al volar sean mínimas y el vuelo se lo mas estable posible.



Los ESC y el controlador de vuelo se alimentan con una batería a través de un cuadro de distribución eléctrica, que permite la distribución efectiva de la potencia a todos los componentes usando una única batería de litio de 4 amperios.



Figura 5. Cuadricóptero montado

2.1.1.2 Implementación

Además de los componentes que lo forman, para el desarrollo del proyecto y del código, es importante conocer los movimientos característicos para manejar este tipo de vehículos aéreos.

Como el proyecto requiere de imitar las señales que el receptor envía al controlador de vuelo (ambos están conectados mediante cables, a cada uno de los movimientos le corresponde una señal) hay que conocer también como son estas señales.

Con ayuda del osciloscopio se ha comprobado que estas señales corresponden con modulación por ancho de pulsos, o PWM (pulse-width modulation). Este tipo de señal consiste en una señal periódica cuadrada de la cual se puede controlar el



porcentaje de tiempo en el que la tensión esta alta con respecto al periodo de esta. Este porcentaje se conoce como ciclo de trabajo, o duty cycle en inglés. Según el porcentaje de periodo de la señal, el controlador de vuelo lo interpretará como que la señal en cuestión debe ser más o menos intensa, y hará que la velocidad de los motores sea mayor o menor.

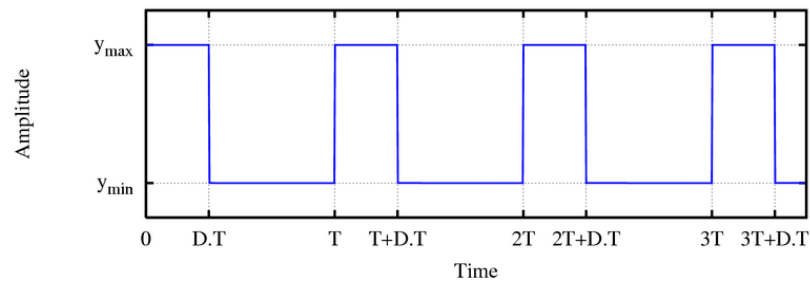


Figura 6. Ejemplo PWM

2.1.2 CÁMARA

Para el reconocimiento de los objetos que se desea seguir, se ha decidido usar una cámara. Como cámara se ha empleado el modelo Pixy (CMUcam5), desarrollado por Charmed Labs. Este tipo de cámara permite detectar objetos según el color y seguir la trayectoria de los objetos que se indiquen. Puede detectar hasta siete objetos de diferentes colores simultáneamente.



Figura 7. Cámara Pixy CMUcam5

Esta cámara usa un algoritmo de filtrado de color basado en las diferentes tonalidades de los objetos. Por ello los objetos que se desee reconocer han de tener una tonalidad distinta que los objetos de alrededor, como por ejemplo, objetos de colores fosforitos. En el caso concreto del proyecto, se ha pensado en usar algún distintivo característico en la ropa de la persona que desea ser grabada, como un casco de colores llamativos, o algún símbolo también de un color distintivo en las prendas de vestir.

La principal ventaja de esta cámara es que está adaptada para conectarse directamente a un microcontrolador, como el Arduino en cualquiera de sus modelos, lo que ha influido para escoger este como microcontrolador. Esta le envía bloque de información a la velocidad de 1Mbits/seg.



Figura 8. Conexión en al Arduino



Figura 9. Conexión en la cámara

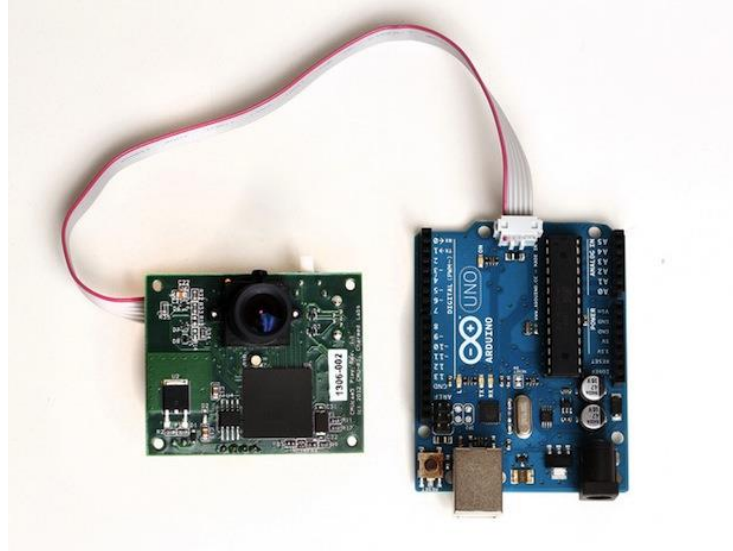


Figura 10. Conexión cámara y Arduino

Esta cámara está diseñada para proyectos de robótica y aplicaciones similares. Es un proyecto open source, del cual se puede obtener diversa información de su uso tanto en su página web como en diferentes foros de internet.

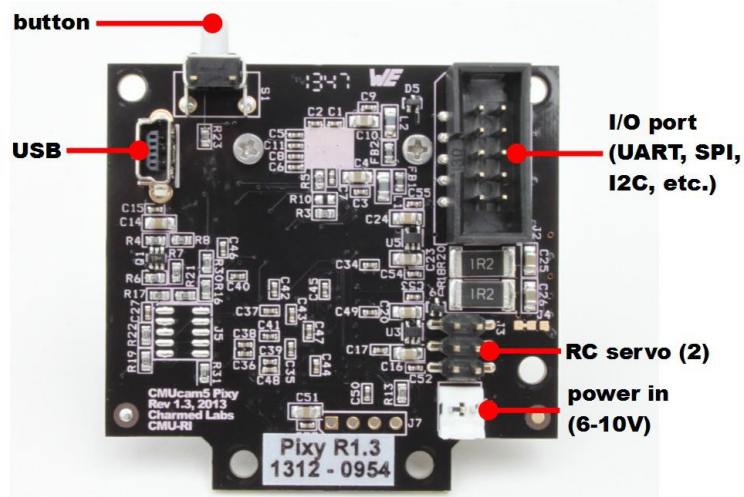


Figura 11. Vista trasera de la cámara

2.1.3 ESQUEMA DE CONEXIÓN

El sistema que se desea montar está compuesto por la cámara, conectada directamente al microprocesador Arduino Mega 2560 y este a su vez estará conectado al controlador de vuelo Naze32. Como se ha medido las señales que el receptor de señales de radio enviaba al controlador de vuelo y se ha comprobado que estas señales corresponden con PWM, se usaran los pines de salida de PWM que tiene este tipo de microcontrolador.

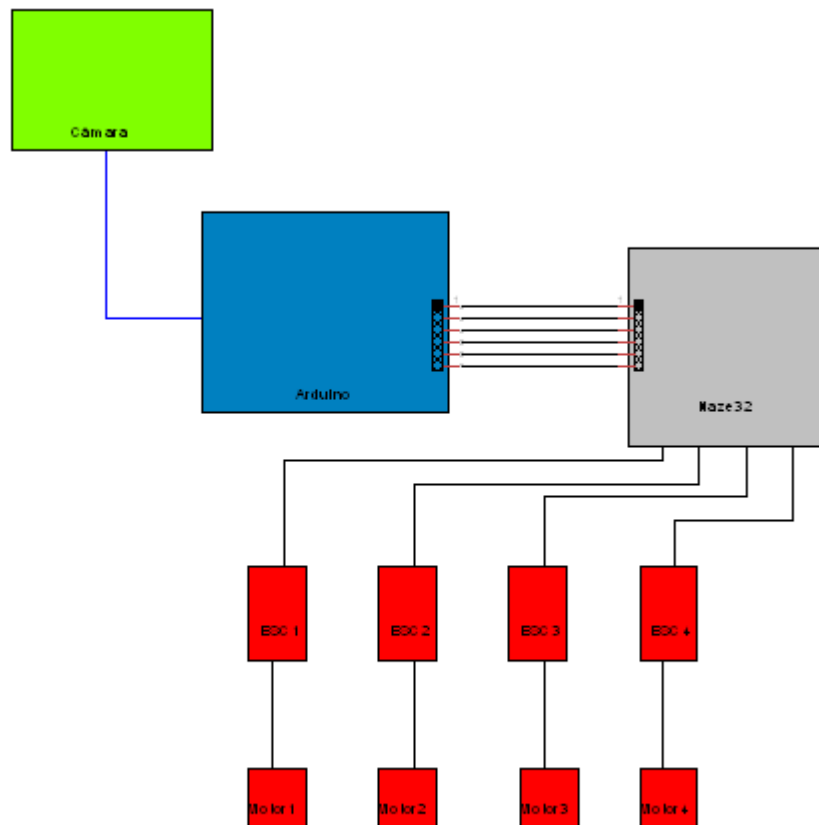


Figura 12. Conexión del sistema



2.2 SOFTWARE

En esta parte se explicara el software que gobierna el funcionamiento del proyecto, tanto de la cámara como del cuadricóptero.

2.2.1 RECONOCIMIENTO DE OBJETOS

Para el reconocimiento de objetos, además de la cámara, para su funcionamiento es necesario instalar el programa PixyMon en el ordenador. Este es un software específico para la cámara que estamos usando, desarrollado por la misma compañía. Para obtenerlo solo hace falta entrar en la página web y descargarlo directamente en el ordenador.

Una vez instalado, es necesario conectar la cámara al ordenador y encenderla. Automáticamente empezara a grabar y se podrá ver la imagen en el ordenador.

Existen dos maneras de “enseñar” un objeto a la cámara. La primera consiste en, colocando el objeto deseado en frente de la cámara, en apretar el botón blanco situado en la parte superior de la cámara, haciendo que parpadee un LED siguiendo una serie de diferentes colores. Una vez que el color del LED corresponda al rojo, se ha de dejar de apretarlo. Cuando se hace esto la cámara detecta al objeto. Para confirmar que esto ha sucedido correctamente, el color del LED deberá corresponder con el del objeto. Con este método no sería necesario usar PixyMon ni tener la cámara conectada al ordenador, pero a su vez, es un método más complicado para que la cámara detecte el objeto deseado.

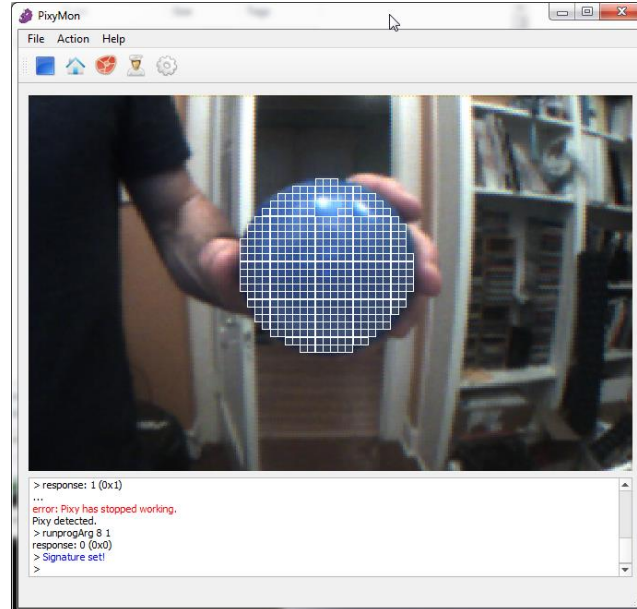


Figura 13. Interfaz PixyMon con objeto detectado

El segundo método, que es el elegido para el desarrollo del proyecto, consiste usando el software. Para ello la cámara tiene que estar grabando al objeto. Al abrir el programa, se puede ver la imagen que la cámara está grabando. En el menú de PixyMon hay que seleccionar **Action** → **Set signature 1**, y con el ratón hacer click y arrastrar en la región del objeto que se desea enseñar a la cámara. Automáticamente la cámara aprende el objeto y este queda guardado.

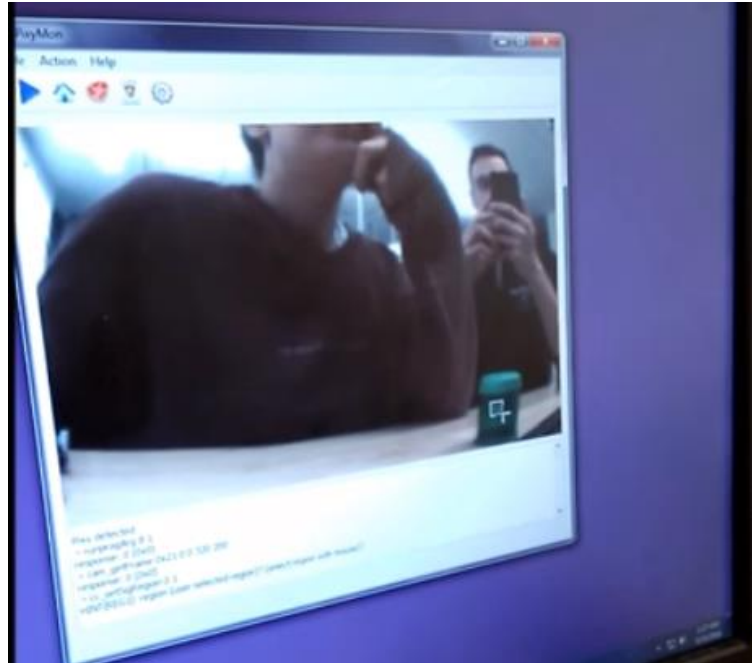


Figura 14. Detección de objeto

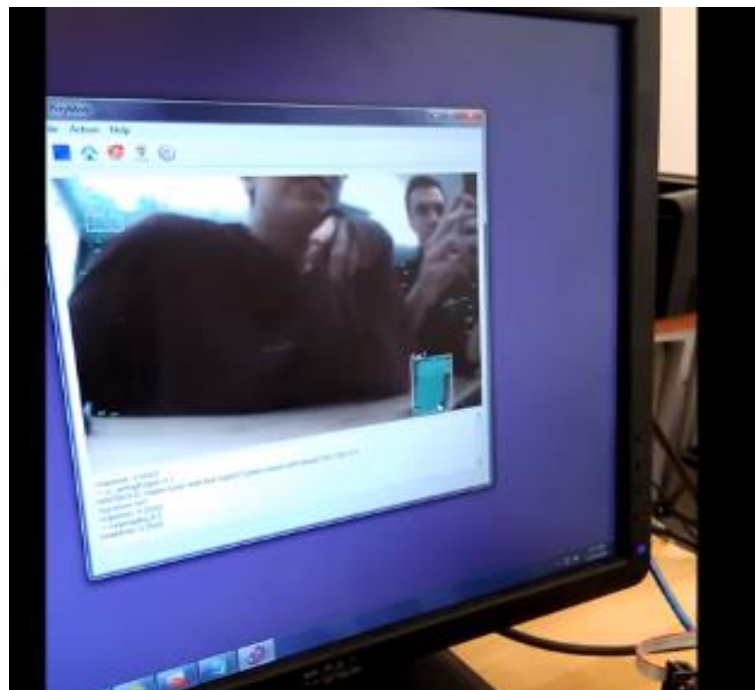


Figura 15. Objeto detectado



A veces la cámara detecta más objetos del que tu deseas enseñarle. En este caso hay que seleccionar **File→Configure**, y a continuación el panel **Signature Tuning** debajo de **Pixy Parameters**. Usando el slider para **Signature 1 range** para ajustar el rango de detección del objeto (hacia la derecha para que se amplíe, y a la izquierda para que detecte menos). Para finalizar hay que hacer click en **Apply** y **Ok**.

Al abrir el menú **action**, se observa que se puede detectar hasta 7 firmas, es decir, la cámara puede detectar hasta 7 objetos simultáneamente. Y en las diferentes firmas, se puede ajustar el rango de detección de forma independiente.

2.2.2 SEGUIMIENTO DE LOS OBJETOS

2.2.2.1 Mandos de vuelo

Para diseñar el programa que envíe las señales de movimientos al controlador de vuelo, se necesita conocer de antemano los mandos de vuelo que se utilizan para controlar los drones.

Los controles necesarios que utilizaremos para volar un cuadricóptero son cinco: elevator, throttle, rudder, aileron y gear. El comando throttle permite volar hacia arriba o abajo mediante la variación de la velocidad de todos los rotores a la vez. Rudder acelera los rotores que giran en una dirección y desacelera los de la otra permitiendo el giro hacia la derecha o izquierda en un plano horizontal. Elevator inclina el cuadricóptero adelante y atrás acelerando los rotores de un lado y haciendo más lentos en el otro. Aileron inclina hacia la derecha e izquierda de la misma manera de acelerar y decelerar los rotores que emplea el comando elevator.

Estos comandos están presentes en los programas realizados para controlar el vuelo del cuadricóptero como las señales que se transmiten del microprocesador al controlador de vuelo.

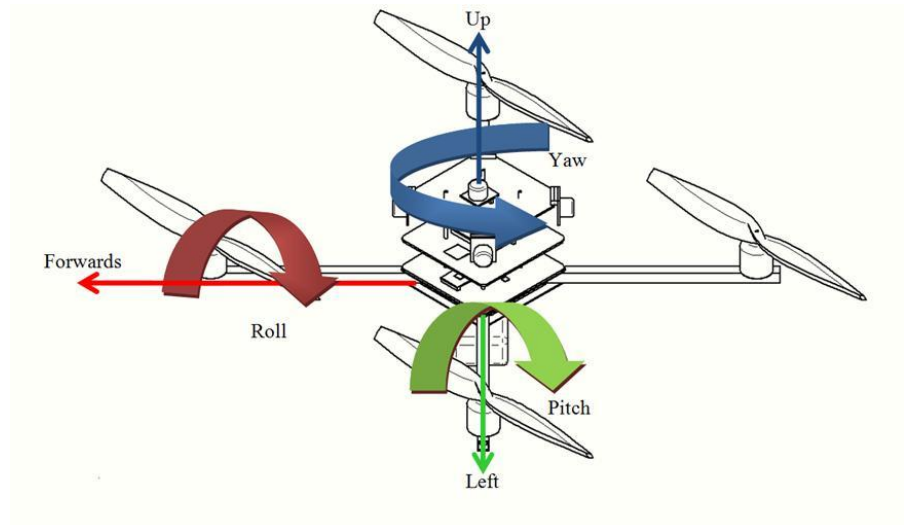


Figura 16. Mandos de vuelo

2.2.2.2 Cámara con microcontrolador

Para usar Pixy con Arduino hay que descargarse la IDE e importarla a la librería de Arduino. En los programas hay que incluir la interfaz de programación de Aplicación (API)

```
#include <SPI.h>

#include <Pixy.h>
```

Y hacienda una instancia global de Pixy escribiendo fuera de las funciones setup() y loop():



```
Pixy pixy;
```

El comando más importante de la librería en Arduino es `getBlocks()`, que devuelve el número de objetos que Pixy ha detectado.

Otros comandos importantes a destacar son:

- `pixy.blocks[i].signature` El número de la signatura del objeto detectado (de 1-7 para signaturas normales)
- `pixy.blocks[i].x` La localización en el eje x del centro del objeto detectado (0 a 319)
- `pixy.blocks[i].y` La localización en el eje y del centro del objeto detectado (0 a 199)
- `pixy.blocks[i].width` El ancho del objeto detectado (1 to 320)
- `pixy.blocks[i].height` La altura del objeto detectado (1 to 200)
- `pixy.blocks[i].angle` El ángulo de inclinación del objeto en el caso de que sea un objeto con código de color.
- `pixy.blocks[i].print()` Función que imprime la información del objeto detectado al puerto serie.

2.2.2.3 Programa

Con todo esto, el programa de seguimiento ha de tener esta información previa en consideración. Se desea que si un objeto se mueve, al detectar el movimiento de su centro, el vehículo sea capaz de realizar movimientos para realizar una trayectoria de vuelo siguiéndolo.

El programa en el Arduino tiene que ser capaz de generar las señales de los mandos de vuelo acorde con el movimiento del objeto. Al ser un cuadricóptero esto supone una dificultad, ya que si el objeto se mueve en horizontal hacia un lado habrá que cambiar la salida de la señal rudder, y mantener el resto de señales iguales, ya que a parte del movimiento, el vehículo ha de mantenerse volando.

Como ya se ha mencionado anteriormente, estas señales son de tipo PWM, que fácilmente se pueden generar con el Arduino, con el comando **`analogWrite(pin,`**



dutyCycle), donde hay que indicar el pin de salida correspondiente, y en **dutyCycle** se indicara el valor del ciclo de trabajo (el porcentaje de tiempo del periodo en el que la tensión esta alta), tiene que ser un valor entre 0 y 255, por lo que habrá que hacer una conversión simple, ya que al ser un porcentaje este varia de 0 a 100%.

De los comandos que la cámara manda al microcontrolador, los necesarios serán los correspondientes a las coordenadas x e y del centro de gravedad del objeto deseado. La cámara envía la información de estas distancias en valores entre 0 y 319 para el eje x, y 0 y 199 para el eje y. Si algunos de estos valores cambiaran el programa ha de generar las señales necesarias de PWM al controlador de vuelo, cambiando el duty cycle en las salidas de los mandos de vuelo correspondientes. Si son las coordenadas de y cambian, habrá que cambiar el duty cycle de la señal throttle. Si sin embargo cambia las coordenadas de x la señal que habrá que cambiar será rudder o elevator. En principio las señales elevator y gear no se modificarán para realizar movimientos en el plano x e y.



Capítulo 3 RESULTADOS/EXPERIMENTOS

Para comprobar las capacidades de los elementos empleados para el desarrollo del proyecto, se han llevado a cabo una serie de pruebas y experimentos, tanto con el cuadricóptero montado, la cámara y el microcontrolador.

3.1 *CAPACIDAD DE VUELO*

La primera prueba realizada, nada más montar los componentes del cuadricóptero, fue comprobar la capacidad de vuelo de este.

Para ello primero se instaló el programa Cleanflight en el ordenador, para instalar el software en el controlador de vuelo que permitiera conectar el receptor con el radiotransmisor que íbamos a utilizar para manejar el cuadricóptero.

Este programa está disponible gratuitamente en internet, es un software libre de controladores de vuelo para diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados, como cuadricópteros y tricópteros entre otra gran variedad. Este permite configurar diferentes softwares de vuelo en tu controlador según los diferentes tipos de vehículos aéreos, el modelo de controlador de vuelo o de radiotransmisor.

Además, también permite controlar el correcto funcionamiento del controlador de vuelo, cambiar los valores del PID de control para realizar un vuelo con las menos oscilaciones posibles según la carga que vaya a llevar el vehículo.

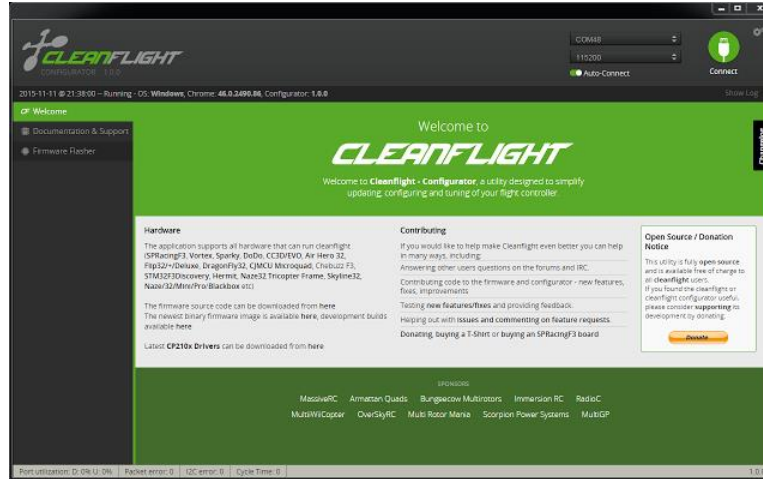


Figura 17. Página inicio del programa Cleanflight.

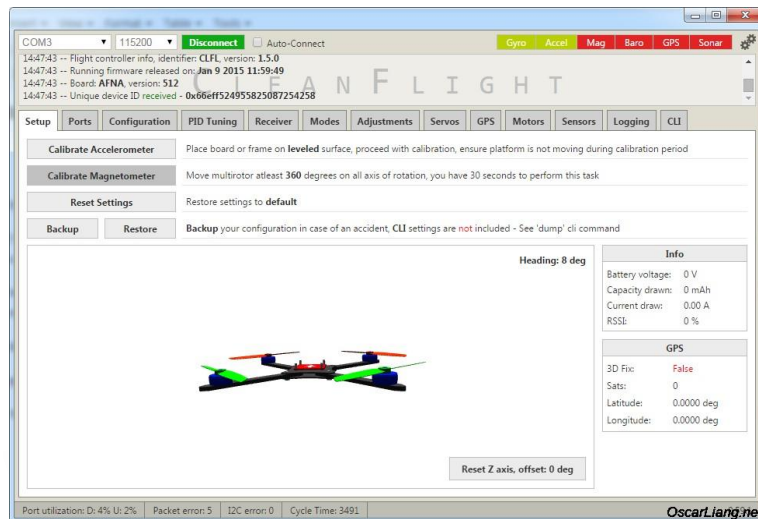


Figura 18. Programa Cleanflight.

Una vez realizado esto, se procedió a pilotar el cuadricóptero y se comprobó que con los componentes escogidos con los que se había montado este volaba correctamente.



3.2 RECONOCIMIENTO DE OBJETOS

Además de probar la capacidad de vuelo del cuadricóptero, se ha tenido que demostrar la capacidad de la cámara para detectar objetos.

Con el programa PixiMon instalado y la cámara conectada al ordenador se pusieron varios objetos de diferentes tamaños y colores para verificar que la cámara los detectaba.

Se comprobó que la imagen que la cámara detectaba no era muy buena, y los objetos que era capaz de detectare debían tener un color muy intenso para diferenciarlos del resto de la imagen. También se ha conseguido detectar varios elementos a la vez.

En ocasiones al detectar un elemento de un color determinado y si había otro objeto de un color parecido en la imagen, la cámara detectaba ambos elementos como el mismo objeto, lo que daría problemas a la hora de determinar la posición exacta del este.

3.3 PRUEBAS CON EL MICROCONTROLADOR

Se sabe que la el microcontrolador escogido funciona perfectamente con la cámara, pero se han realizado una serie de pruebas para confirmar que este era capaz de enviar las señales necesarias al controlador de vuelo.

Se ha conectado el Arduino entre el receptor y el controlador de vuelo. Los cables con las señales que salen del receptor de throttle, aileron, elevator, rudder y gear se conectan a los pines de entrada digitales 2 ,3 ,4 ,5 y 6 respectivamente, y en los pines de salida digitales del 7 al 11 los cables correspondientes a las mismas señales que conectan con el controlador de vuelo. Para ello se ha tenido



que cortar los cables que unían el controlador de vuelo con el receptor y soldar otros nuevos.

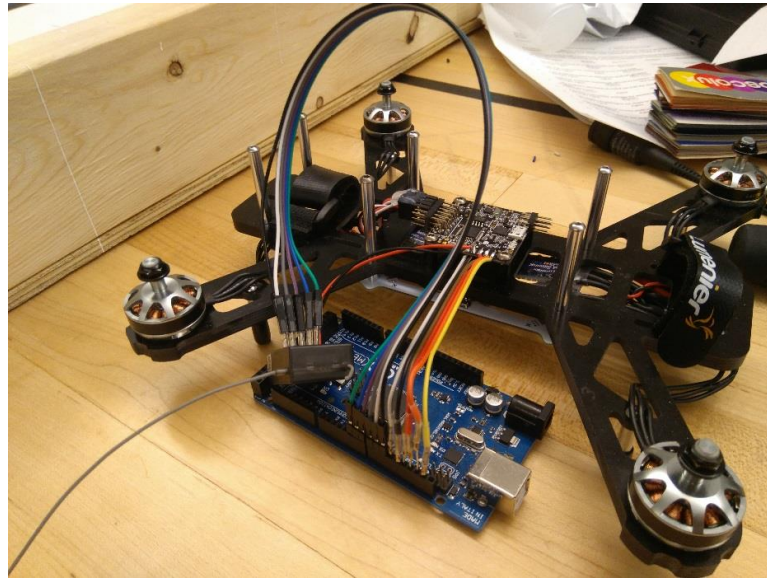


Figura 19. Microcontrolador conectado para prueba.

Se han realizado varios programas hasta que se ha conseguido que la señal de salida sea la misma que la de la entrada.



Capítulo 4 CONCLUSIONES

Se ha construido un cuadricóptero que es capaz de volar de forma manual, mediante el uso de un radiotransmisor y un receptor conectado al controlador de vuelo. También se ha conseguido detectar objetos con la cámara.

Se ha comprobado con el microcontrolador que sirve para transmitir las señales desde el receptor al controlador de vuelo, y tiene la capacidad de generar las señales para el funcionamiento de los motores del cuadricóptero, a través del controlador aéreo.

El desarrollo del programa de seguimiento no ha sido completado, en parte por la complicación de este, ya que este tipo de programas, especialmente para vehículos aéreos como el nuestro, son de una gran complejidad. La falta de tiempo también ha sido un factor que ha influido en no acabar el proyecto como se hubiera deseado.

Sin embargo, se han sacado varias lecciones sobre la forma de trabajar en un proyecto de creación de un producto, como el trabajo en equipo, las consideraciones al comprar los materiales necesarios con un presupuesto limitado. Al ser este un proyecto complejo, en el que se comenzaba de cero, e inicialmente con pocos conocimientos sobre el tema, no se puede considerar un fracaso absoluto, ya que con todos los experimentos y pruebas realizadas, los problemas afrontados y las gestiones que se han tenido que realizar se han adquirido grandes conocimientos de ingeniería y de cómo gestionar un proyecto.





Capítulo 5 FUTUROS DESARROLLOS

Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto no ha quedado completamente acabado. No se ha conseguido desarrollar un buen programa de seguimiento, en parte, debido a la complejidad de los movimientos de este tipo de vehículos aéreos.

Desarrollando un programa más complejo se podría llegar a conseguir que el cuadricóptero sea capaz de realizar un seguimiento, realizando movimientos de gran precisión. Esto llevaría una gran cantidad de tiempo, y es de una dificultad considerable.

También en el caso de utilizar una cámara mejor, la detección de objetos sería de mayor calidad y con posibilidad de detectar una mayor variedad de la que actualmente se puede. Esto también llevaría a desarrollar un programa más complejo, ya que esta cámara que se está utilizando es perfectamente compatible con el microcontrolador usado y la señal enviada son las coordenadas, cuando otro tipo de cámaras con mayor precisión seguramente tengan una mayor complejidad en su uso. El desarrollo de un programa propio de detección de objetos a partir de una cámara convencional llevaría demasiado tiempo y demasiada complejidad para su desarrollo.





BIBLIOGRAFÍA

- [1] Newsela (2015) *Drones ponen en peligro la labor de los bomberos*. Recuperado de <https://newsela.com>
- [2] Hemav (2015) *El mercado de los drones alcanzara la friolera de 4800 millones de dólares en 2021*. Recuperado de <http://blog.hemav.com/>
- [3] Manuel González Pascual (2016) *Los drones, la conquista del mercado laboral*. Recuperado de <http://cincodias.com>
- [4] Charmed Labs. <http://charmedlabs.com/default/pixy-cmucam5/>
- [5] «aeronave no pilotada». *Diccionario Español de Ingeniería* (1.0 edición). Real Academia de Ingeniería de España. 2014. Consultado el 29 de mayo de 2014.
- [6] *How to flight a quadcopter* (2014) Recuperado de <http://myfirstdrone.com>





Parte II ESTUDIO

ECONÓMICO





Capítulo 1 MEDICIONES

1.1 COMPONENTES

Componente	Cantidad
Marco	1
Motores	4
Arduino Mega 2560	1
Baterías litio	3
Controlador de vuelo	1
Speed controllers	4
Cámara PixyCam	1
Recibidor	1
Radio transmisor	1
Cuadro de distribución eléctrica	1
Hélices	8

Tabla 1. Medición de componentes



1.2 SOFTWARE

Nombre	Horas de uso
Entorno de programación Arduino	20
Programa Cleanflight	20
Programa PixyMon	5

Tabla 2. Medición de software

1.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Nombre	Cantidad
Soldador de estaño	1
Osciloscopio	1
Pistola de silicona termo-fusible	1
Polímetro	1
Otras herramientas (destornillador...)	1

Tabla 3. Medición de herramientas y equipos



1.4 MANO DE OBRA DIRECTA

Actividad	Horas
Estado del arte	10
Búsqueda y elección de equipos	30
Búsqueda y elección de software	50
Montaje	20
Programación	40
Pruebas y solución de problemas	150
Documentación del proyecto	50

Tabla 4. Medición de mano de obra directa





Capítulo 2 PRECIOS UNITARIOS

2.1 COMPONENTES

Componente	Precio/Unidad (\$)
Marco	89.99
Motores	25.99
Arduino Mega 2560	21.99
Baterias litio	23.99
Controlador de vuelo	24.99
Speed controllers	19
Camara PixyCam	69
Recibidor	30
Radio transmisor	89.99
Cuadro de distribución eléctrica	59.99
Hélices	1.5

Tabla 5. Precio unitario de componentes



2.2 SOFTWARE

Nombre	Precio/hora \$
Entorno de programación Arduino	gratuito
Programa cleanflight	gratuito
Programa PixyMon	gratuito

Tabla 6. Precio unitario de software

2.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Nombre	Precio \$
Soldador de estaño	5.74
Osciloscopio	247
Pistola de silicona termo-fusible	12.65
Polímetro	29.65
Otras herramientas (destornillador...)	30

Tabla 7. Precio unitario de herramientas y equipos



2.4 MANO DE OBRA DIRECTA

Actividad	Precio/hora
Estado del arte	20
Búsqueda y elección de equipos	20
Búsqueda y elección de software	25
Montaje	30
Programación	40
Pruebas y solución de problemas	50
Documentación del proyecto	25

Tabla 8. Precio unitario de mano de obra



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Precios unitarios



Capítulo 3 SUMAS PARCIALES

3.1 COMPONENTES

Componente	Cantidad	Precio/Unidad (\$)	Coste total (\$)
Marco	1	89.99	89.99
Motores	4	25.99	103.96
Arduino Mega 2560	1	21.99	21.99
Baterías litio	3	23.99	71.97
Controlador de vuelo	1	24.99	24.99
Speed controllers	4	19	76
Camara PixyCam	1	69	69
Recibidor	1	30	30
Radio transmisor	1	89.99	89.99
Cuadro de distribución eléctrica	1	59.99	59.99
Hélices	8	1.5	12
TOTAL Componentes			649.88

Tabla 9. Sumas parciales de componentes



3.2 SOFTWARE

Nombre	Horas de uso	Precio/hora	Coste total
Entorno de programación Arduino	20	0	0
Programa cleanflight	20	0	0
Programa PixyMon	5	0	0
TOTAL Software			0

Tabla 10. Sumas parciales de software

3.3 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Nombre	Cantidad	Precio \$	Coste total \$
Soldador de estaño	1	5.74	5.74
Osciloscopio	1	247	247
Pistola de silicona termo-fusible	1	12.65	12.65
Polímetro	1	29.65	29.65
Otras herramientas (destornillador...)	1	30	30



TOTAL Herramientas	325.04
--------------------	--------

Tabla 11. Sumas parciales de herramientas y equipos

3.4 MANO DE OBRA DIRECTA

Actividad	Horas	Precio/Hora (\$)	Coste total (\$)
Estado del arte	20	20	400
Búsqueda y elección de equipos	30	20	600
Búsqueda y elección de software	50	25	1250
Montaje	20	30	600
Programación	40	40	1600
Pruebas y solución de problemas	160	50	8000
Documentación del proyecto	50	25	1250
TOTAL Mano de obra			13700

Tabla 12. Sumas parciales de mano de obra





Capítulo 4 PRESUPUESTO GENERAL

Concepto	Coste \$
Componentes	649.88
Software	0
Herramientas y equipos	325.04
Mano de obra	13700
Total	14674.92

Tabla 13. Presupuesto general

Total euros	13269.06
--------------------	-----------------

Tabla 14. Presupuesto general en euros



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Presupuesto general



Parte III CÓDIGO FUENTE



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Código fuente prueba 1



Capítulo 1 CÓDIGO FUENTE PRUEBA 1

```
//QuadSignalRelay

int ThroPin = 2;

int AilePin = 3;

int ElevPin = 4;

int RuddPin = 5;

int GearPin = 6;

int ThroOut = 7;

int AileOut = 8;

int ElevOut = 9;

int RuddOut = 10;

int GearOut = 11;

int Thro;

int Aile;

int Elev;

int Rudd;

int Gear;

void setup() {
pinMode(ThroPin, INPUT);
```




```
pinMode(AilePin, INPUT);  
pinMode(ElevPin, INPUT);  
pinMode(RuddPin, INPUT);  
pinMode(GearPin, INPUT);  
  
pinMode(ThroOut, OUTPUT);  
pinMode(AileOut, OUTPUT);  
pinMode(ElevOut, OUTPUT);  
pinMode(RuddOut, OUTPUT);  
pinMode(GearOut, OUTPUT);  
  
}  
  
void loop() {  
  
Thro=digitalRead(ThroPin);  
Aile=digitalRead(AilePin);  
Elev=digitalRead(ElevPin);  
Rudd=digitalRead(RuddPin);  
Gear=digitalRead(GearPin);  
  
digitalWrite(ThroOut,Thro);  
digitalWrite(AileOut,Aile);  
digitalWrite(ElevOut,Elev);  
digitalWrite(RuddOut,Rudd);  
digitalWrite(GearOut,Gear);
```



}



Parte IV DATASHEETS





Capítulo 1 LISTA DATASHEETS

Como la información de los datasheets se encuentra fácilmente en internet, se considera innecesario adjuntar dichos archivos, proporcionando las direcciones URL de cada uno de los componentes.

Descripción	Nombre	URL
Microcontrolador	Arduino Mega 2560	http://www.robotshop.com/media/files/PDF/ArduinoMega2560Datasheet.pdf

Tabla 15. Lista datasheets



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Lista datasheets
