



INGENIERÍA TÉCNICA INFORMÁTICA EN SISTEMAS

Curso Académico 2011/2017

Proyecto Fin de Carrera

ROBÓTICA AÉREA CON AVIONES

Autor : José Antonio Fernández Casillas

Tutor : José María Cañas Plaza

Proyecto Fin de Carrera

Robótica aérea con aviones

Autor : José Antonio Fernández Casillas **Tutor :** José María Cañas Plaza

La defensa del presente Proyecto Fin de Carrera se realizó el día de
de 20XX, siendo calificada por el siguiente tribunal:

Presidente:

Secretario:

Vocal:

y habiendo obtenido la siguiente calificación:

Calificación:

Fuenlabrada, a de de 20XX

*Dedicado a
mi familia / mi abuelo / mi abuela*

Agradecimientos

Aquí vienen los agradecimientos... Aunque está bien acordarse de la pareja, no hay que olvidarse de dar las gracias a tu madre, que aunque a veces no lo parezca disfrutará tanto de tus logros como tú... Además, la pareja quizás no sea para siempre, pero tu madre sí.

Resumen

Aquí viene un resumen del proyecto. Ha de constar de tres o cuatro párrafos, donde se presente de manera clara y concisa de qué va el proyecto. Han de quedar respondidas las siguientes preguntas:

- ¿De qué va este proyecto? ¿Cuál es su objetivo principal?
- ¿Cómo se ha realizado? ¿Qué tecnologías están involucradas?
- ¿En qué contexto se ha realizado el proyecto? ¿Es un proyecto dentro de un marco general?

Lo mejor es escribir el resumen al final.

Summary

Here comes a translation of the “Resumen” into English. Please, double check it for correct grammar and spelling. As it is the translation of the “Resumen”, which is supposed to be written at the end, this as well should be filled out just before submitting.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Robótica Aérea	1
1.2. Tipos de Aeronaves	2
1.3. Aplicaciones	4
1.4. Robótica aérea en el laboratorio de Robótica de la URJC	7
2. Objetivos	9
3. Infraestructura utilizada	11
3.1. Hardware	11
3.2. Placa estabilizadora	11
3.3. JdeRobot	13
3.3.1. Interfaces	13
3.3.2. Framework	16
3.3.3. ArDrone Server	16
3.3.4. UAV Viewer	16
3.4. MAVLink	16
3.5. Python y PyQt5	16
3.6. Mapas y Geo-referenciación	16
3.7. SITL	17
4. Infraestructura Desarrollada	19
4.1. Sección 1	19

5. AUV Commander	21
5.1. Arquitectura general	21
6. Experimentos	23
7. Conclusiones	25
7.1. Consecución de objetivos	25
7.2. Aplicación de lo aprendido	25
7.3. Lecciones aprendidas	25
7.4. Trabajos futuros	26
7.5. Valoración personal	26
A. Manual de usuario	27
Bibliografía	29

Índice de figuras

1.1. Dron grabando en el interior de un crater	5
1.2. Dron Yamaha RMAX fumigando	5
5.1. Estructura del parser básico	22

Capítulo 1

Introducción

Los UAV o Drones se han popularizado en los últimos años hasta el punto de formar parte de nuestro día a día con aplicaciones en muchos ámbitos de nuestra vida.

Si bien se están utilizando ya de forma habitual en sectores como el cine o la ingeniería civil, aún se están explorando muchas de las posibles utilidades que estos robots pueden llegar a ofrecer.

El objetivo de este trabajo final es poner en valor y asentar el uso de un tipo de UAV que no está hoy muy representado en el ámbito civil y que aventaja en varios aspectos al más popularizado quadricóptero, se trata del avión.

1.1. Robótica Aérea

Los orígenes de la robótica aérea tienen origen militar y su avance ha estado intrínsecamente ligado a este ámbito durante todo el siglo XX.

Se consideran el origen de los aviones no tripulados los experimentos llevados a cabo a principios del siglo XX durante la 1ª guerra mundial como el 'Aerial Target' desarrollado por el capitán A. H. Low para su uso como blanco aéreo. Si bien eran vehículos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicles) no eran autónomos y eran manejados desde tierra a través de una radio. No es hasta el final del siglo XX cuando bajo el escenario de la guerra de Vietnam y ante la creciente pérdida de vidas de los pilotos estos vehículos vuelven de nuevo a ser objeto de desarrollo y se convierten en vehículos autónomos.

Desde ese momento y hasta nuestros días se utilizan de forma habitual en el ámbito militar

en misiones de reconocimiento, bombardeos o apoyo sin arriesgar vidas humanas.

A lo largo de los primeros años de este siglo debido al abaratamiento de los componentes electrónicos y a su minituarización y potencia, la robótica aérea se ha 'desmilitarizado' y esta experimentado un enorme crecimiento en el ámbito de las aplicaciones civiles.

Hoy en día es común encontrar en cualquier juguetería quadracópteros radio-pilotados por poco menos de 30 euros y en tiendas especializadas podemos encontrarlos ya con el hardware y software integrados que les permiten seguir una serie de puntos de control y comportarse de forma autónoma por poco más de 200 €.

En la actualidad el uso de AUV o drones se ha popularizado tanto que es una de las industrias en las que más ha crecido su inversión, y es que según la empresa analista especializada en drones Droneii con sede en Hamburgo en un estudio sobre la inversión en el sector¹ en Europa se invirtió en proyectos domésticos en 2016 cerca de 65 millones de dólares incrementándose esta cifra hasta los 314 millones si atendemos al mercado norteamericano. Estos datos se asientan en un mercado cada vez más extendido y con una gran proyección de crecimiento, la publicación BI Intelligence² espera que las ventas de drones alcancen los 12.000 millones en 2021.

Con su uso ya ampliamente extendido en sectores como el cine, la televisión, fotografía, agropecuario, forestal, ingeniería civil y presencia en sectores como el de salvamento o seguridad y protección el nicho de mercado de los UAV está lejos de su cima y se investigan día a día nuevos usos en sectores como el de la logística o las telecomunicaciones como veremos más adelante..

1.2. Tipos de Aeronaves

Las aeronaves son la base sobre las que se asienta la inteligencia que permite que nuestro robot vuele de ahí que convenga dedicar unas líneas a entender la base de las mismas y en particular las que son objeto de estudio y desarrollo en este PFC los llamados aerodinos.

Los aerodinos son aquellas aeronaves que vuelan a pesar de pesar más que el aire, son capaces de generar sustentación por sus propios medios a diferencia de los aerostatos como por ejemplo los globos aerostáticos.

¹<http://www.droneii.com/drone-investment-trends-2016>

²<http://www.businessinsider.com/the-drones-report-research-use-cases-regulations-and->

Existen principalmente 2 tipos de aerodinos si atendemos al modo en que generan su sustentación con sus alas, de ala fija y las de ala rotatoria.

Dentro de la tipificación de ala fija tenemos aquellas aerodinos que tienen sus alas fijas al fuselaje, y que comúnmente conocemos como aviones, según la OACI, un avión es un «Aerodino propulsado por motor, que debe su sustentación en vuelo principalmente a reacciones aerodinámicas ejercidas sobre superficies que permanecen fijas en determinadas condiciones de vuelo» Algunos ejemplos de aerodinos de ala fija son los aeroplanos, planeadores/veleros, aladeltas, parapentes, paramotores y ultraligeros.

Este tipo de aerodinos tienen como principal ventaja que la carga de aire que necesitan en sus alas puede ser producida de muchas formas distintas (los veleros no tienen ningún tipo de propulsión). Esta carga es variable en función de la superficie alar del mismo y permite por tanto cargas más grandes que si instalásemos el mismo propulsor en un ala rotatoria. Pongamos como ejemplo el A380 de Airbus, es el avión de pasajeros más grande del mundo y cuenta con 4 motores que producen un empuje de entre 70.000 y 80.000lbs, unas 32-36 toneladas de empuje cada uno generando por tanto entre los 4 a máximo rendimiento y optimas condiciones alrededor de 144 toneladas de empuje. Este avión tiene un peso máximo al despegue³ de entre 560 y 590 toneladas. Tenemos por tanto que necesitamos en este caso 1/4 del peso total en empuje para despegar este avión. Si hiciésemos este mismo ejercicio con un aerodino de ala rotatoria como el Boeing AH-64 o Apache con un peso máximo al despegue de 9,5 toneladas necesitaríamos que la combinación que realizan empuje y palas superase esos 9,5 toneladas para pudiera levantar del suelo. Este tipo de aerodinos son por tanto más eficientes, rápidos, con mayor carga de peso, mayor alcance debido a su menor consumo y más estables.

Dentro de la tipificación de ala rotatoria tenemos aquellas aerodinos que producen su sustentación con el movimiento (rotación) de sus alas. En este tipo de aerodinos las alas, también llamadas 'palas' en este tipo de aerodinos, giran en torno a un eje produciendo con este giro la sustentación necesaria para despegar del suelo. Algunos ejemplos de este tipo de aerodinos son los helicópteros, autogiros, convertibles o los ampliamente conocidos en robotica aerea los cuadracópteros. Este tipo de aerodino tiene como principal ventaja frente a los ala fija en su versatilidad a la hora de realizar las maniobras de despegue y aterrizaje que pueden realizarse

³Peso máximo que es capaz de soportar un avión en su maniobra de despegue

de forma vertical (VTOL⁴) además de la capacidad de realizar vuelo estacionario⁵ que le hacen imprescindible en escenarios poco accesibles o donde nos es posible aterrizar como el rescate marítimo.

1.3. Aplicaciones

La robótica aérea ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, se ha popularizado su uso y se ha extendido la comercialización de drones.

El sector donde más rápida acogida ha tenido la robótica aérea ha sido el sector audiovisual, se usa de forma habitual en cine, grabación de espectáculos en directo televisión y fotografía. El porqué de tal acogida se basa principalmente en 2 factores, los costes y la viabilidad técnica. Los costes de realizar una toma aérea en una producción antes pasaban por el alquiler de un helicóptero, dependiendo de la toma, así como del material y la contratación de los medios humanos a bordo para realizarlas podía ascender a entre 4000 y 6000 euros la hora. Hoy en día basta con un pequeño dronde entre 400 y 1800 euros⁶ por jornada e incluirían en el tramo más elevado piloto y operador de cámara. Como se puede constatar fácilmente el ahorro incurrido no es para nada desdeñable y ofrece a pequeñas productoras acceder a éste tipo de grabaciones que de otro modo serían privativas para éstas. Aunque aspecto económico es especialmente importante para decantarse por el uso de este tipo de medios, existen en el mundo audiovisual trabajos que no hubiesen sido posibles hasta este momento gracias a los drones. Grabaciones en las que el riesgo humano y material que habría que asumir es tan alto que tan solo de éste modo, debemos por tanto a los drones fotografías como ésta que si bien nos se tomó como parte de ningún proyecto cinematográfico nos hace una idea de lo que la robótica aérea puede ofrecernos.

⁴Vertical take off and landing

⁵Mantenerse estáticamente en un punto elevado

⁶Precios aproximados extraídos de la empresa especializada World Aviation Helicopters <https://www.worldaviation.es/es/servicio-drones.aspx>



Figura 1.1: Dron grabando en el interior de un crater

Otro sector que ha adaptado rápidamente el uso de éstas pequeñas aeronaves es el agropecuario donde se utiliza para medir la condiciones del terreno, con el fin de recoger información sobre la hidratación, la temperatura o el ritmo de crecimiento de los cultivos. Controlan el riego e incluso esparcen los pesticidas de manera eficiente siendo un arma eficaz contra las plagas, se utilizan incluso como espantapájaros. La aplicación de drones en este sector se remonta a 1983 cuando el Ministerio de Agricultura de Japón preocupado por el envejecimiento de su población rural encargó a Yamaha el desarrollo de una aeronave no tripulada capaz de realizar varias tareas de las anteriormente descritas a fin de atraer más gente al medio rural. En 1990 se entregaron las primeras unidades del Yamaha RMAX y actualmente el 40 % de los arrozales japoneses cuentan con un dron sobrevolándolos.



Figura 1.2: Dron Yamaha RMAX fumigando

Son utilizados también por los servicios de rescate tras una catástrofe para evaluar los daños

experimentados y ayudas a encontrar supervivientes entre los escombros. Algunos son capaces de enviar a los supervivientes paquetes de supervivencia con salvavidas, alimentos o agua mientras esperan su rescate⁷

E incluso se han empezado a utilizar por el Ministerio de Hacienda de España con fines recaudatorios, sobrevuelan las viviendas o fincas localizando edificaciones no registradas por el catastro con el fin de regularizar su situación.

El uso de drones es especialmente importante en el ámbito científico para por ejemplo tomar medidas de temperatura y CO₂ en zonas peligrosas⁸, estudiar las nubes volcánicas⁹ o volar dentro de una grieta en un glaciar¹⁰.

El futuro del uso de los drones se está escribiendo en este mismo momento y es que poco a poco se investigan con nuevos usos o cómo mejorar los ya actuales.

Uno de los usos más prometedores que esta siendo investigado es el uso de drones para la logística y paquetería, Amazon estudió en 2105 la viabilidad de utilizar drones para el reparto, especialmente en zonas de difícil acceso o bien alejadas de las zonas habituales de reparto. A finales de dicho año realizó pruebas de entregas en el reino unido y desarrollo un prototipo de alrededor de 25Kg de peso. El objetivo de Amazon, entregas de menos de 3Kg en 30 minutos y una toma de contacto en la entrega de paquetes en zonas pobladas. Esto a dado pie a las principales empresas de logística y paquetería a realizar sus propios desarrollos y construir sus propios prototipos. DHL ha realizado sendas pruebas con drones de cerca de 5 Kg para la entrega de paquetes de hasta 1,2 Kg. La empresa francesa GeoPost se ha con la empresa Atechsys, especializada en el desarrollo de sistemas autónomos para aeronaves no tripuladas, que ha dado como resultado un dron que cuenta con seis rotores eléctricos y estructura de fibra de carbono, con capacidad para llevar paquetes de un peso aproximado de hasta 2 kilos. UPS ha realizado un experimento en tampa con un octocóptero que despegaría desde el techo de la furgoneta de reparto para entregar los paquetes en zonas rurales y ahorrar en kilometraje el dron tendría una carga de pago de unos 4,5Kg.

Otro de los estudios que más llama la atención es el de Google y Facebook que compiten

⁷<http://www.elmundo.es/economia/2015/09/15/55f8239546163fc6598b45c3.html>

⁸<http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1395-medidas-de-temperatura-y-co2-de-las->

⁹<https://www.nasa.gov/topics/earth/earthmonth/volcanic-plume-uavs.html>

¹⁰http://tn.com.ar/tecno/recomendados/increible-un-drone-volo-dentro-de-un-glaciar_

en llevar internet a zonas aisladas a través de una red de drones y satélites. Facebook presentó en su F8 en Marzo de 2015 su prototipo de dron a tal efecto, Aquila, fruto de la adquisición de la empresa especializada en robótica aérea Acenta. Este proyecto se enmarca dentro del plan internet.org y liderado Connectivity Lab¹¹ que pretende ofrecer internet con un coste reducido a todo aquel que no lo tenga.

1.4. Robótica aérea en el laboratorio de Robótica de la URJC

Dentro del laboratorio de robótica de la Universidad Rey Juan Carlos cabe destacar los trabajos realizados para profundizar investigar y experimentar con ellos.

Trabajos como el de Alberto Martínez Florido permitió controlar un AR-Drone real desde una aplicación cliente, desarrollando para ello un driver para el dron, `ardrone_server` y una aplicación cliente UAV Viewer. El driver `ardrone_server` es capaz de conectar con el AR-DRONE a través de comandos AT tanto para obtener los datos de todos sus sensores como para controlarlo y expone todo ello en interfaces JdeRobot para su interconexión con todo el software disponible en el framework. El AR-Drone es un quadracóptero que en su versión actual cuenta con acelerómetros, giróscopos y magnetómetros en 3 ejes que determinan junto con su barómetro y un sensor de ultrasonidos la actitud del mismo, dispone además de 2 cámaras, una ventral y otra frontal y algunos modelos traen sensor GPS. Alberto desarrolló también el software de control UAV Viewer, esta aplicación cliente es capaz de controlar con cualquier dron y mostrar de forma visual su actitud, lo que captan sus cámaras. Este trabajo [foto de UAVViewer]

Daniel Yague desarrolló un driver para poder simular el comportamiento del AD-Dronde en el simulador Gazebo, de referencia en el departamento de robótica de la universidad y contenido dentro de la suite JdeRobot. Con este desarrollo se hizo posible desarrollar, probar anticipar los problemas que puedan surgir en el vuelo del dron antes siquiera de volarlo, de esta forma es posible el desarrollo de aplicaciones de navegación complejas sin disponer de él, sin arriesgarlo e independientemente de factores externos como la climatología. Para mostrar las posibilidades de desarrollo que se abrían desarrolló varias aplicaciones en el ar-drone simulado como un gato-ratón donde un dron teleoperado trataba de huir de otro que le seguía o una aplicación donde el

¹¹Un equipo formado por 50 expertos en aeronáutica y ciencia espacial

dron seguía una carretera.

Jorge Cano construyó propio su dron utilizando como base un quadracóptero con un Intel Compute Stick (ICS) STCK1A8LFC como ordenador de a bordo y una placa Pixhawk como placa estabilizadora/piloto automático. Esta placa utiliza como protocolo de comunicación MAVLink¹² y dispone de acelerómetros, giróscopos y magnetómetros para determinar la actitud. Además de la construcción del dron Jorge desarrolló el driver MAVLinkServer donde apoyándose en MAVProxy adaptó los comandos MAVLink a interfaces JdeRobot permitiendo acceder a la actitud y controlar el dron con comandos tipo GotoXY enviados a través del interfaz Pose3D¹³



(a) Intel



(b) camaras

En la actualidad se estan desarrollando nuevos trabajos sobre este tipo de placas estabilizadoras que tiene como software base ArduCopter/Ardupilot o son compatibles.

Diego Jimenez trabaja en controlar un Solo Drone de la empresa 3DR¹⁴ mediante el interfaz de velocidades CMDVel¹⁵, este quadracóptero tiene como placa de control una Pixhawk como la utilizada por Jorge Vela en el dron que se construyó y utiliza también comandos MAVLink.

Jorge Vela se encuentra desarrollando como realizar la maniobra de aterrizaje de forma automática al localizar un patrón o baliza localizado visión, como dron estan utilizando un Solo Drone con una Intel Stick como ordenador de a bordo.

¹²Micro Air Vehicle Link <https://en.wikipedia.org/wiki/MAVLink>

¹³Ver capítulo 3 Arquitectura utilizada

¹⁴Empresa norteamericana con sede en California especializada en robótica aérea. Se sitúa en 2017 como la 3ª empresa del sector

¹⁵Ver capítulo 3 Arquitectura utilizada

Capítulo 2

Objetivos

[PRELIMINAR SOLO IDEAS] Los objetivos de este PFC son arrojar luz sobre el uso de drones de ala fija poniendo en valor éstos en situaciones donde la carga de pago, la autonomía, velocidad o consumo desaconsejan el uso de los más extendidos quadracópteros.

Para ésto hemos adaptado un avión de radio-control comercial añadiéndole toda la aviónica necesaria para que puede operar como drone. Hemos desarrollado un driver para JdeRobot del interfaz MAVLink que nos permite recoger actitud, velocidades lineales y angulares, altura, posición y otros parámetros como la batería restante. Nos permite también la actuación con el seguimiento de misiones que no sólo incluyen el paso por ciertos puntos de control o waypoints sino que también soporta las maniobras de despegue y aterrizaje en drones de ala fija. Hemos desarrollado también un software de control que da soporte a este tipo de actuación de más alto nivel, las misiones.

Capítulo 3

Infraestructura utilizada

3.1. Hardware

Este PFC se apoya principalmente en 3 piezas hardware:

- El avión a radio-control. Para este desarrollo hemos elegido el avión Bix3 distribuido por la empresa china www.hobbyking.com, hemos elegido este modelo por ser un avión muy estable debido principalmente a sus cualidades como velero y su alta superficie alar. Para poder cargar con el equipo necesario nos ha sido necesario cambiar el motor, el variador y las baterías de serie por otras de mayor rendimiento que nos permiten volar con tanta carga de pago.
- Una raspberry PI3 que es nuestro ordenador de abordo y en el que instalaremos la infraestructura necesaria para que podamos dotarle de inteligencia. Hemos elegido éste dispositivo debido al compromiso peso/potencia que nos otorga así como porque se trata de un hardware muy asequible y extendido.

3.2. Placa estabilizadora

El estabilizador/piloto automático, para este desarrollo hemos optado por un Ardupilot que trae incorporados en su placa los giróscopos y acelerómetros para su estabilización y que trae de serie un receptor GPS con brújula.

Placa estabilizadora/piloto automático Ardupilot. Esta placa accede directamente a los actuadores del avión (los servos y el motor) a través de señales PWM. Esta y otras placas similares como Pikhawnk ofrecen un interfaz que se apoya en comandos llamado MAVLink. A través de comandos MAVLink se puede acceder a los sensores, a los que incorpora la placa o a los que le añadamos a la misma como el GPS o sensores de velocidad del aire. A través de estos comandos se le puede también enviar ordenes al piloto automático quien las ejecutará. Un ejemplo de comando MAVLink sería:

```
type GpsStatus struct {
    SatellitesVisible uint8      N'umero de sat'elites visibles
    SatellitePrn       [20]uint8 Id Global de cada sat'elite
    SatelliteUsed       [20]uint8 Lista con el uso de cada sat'elite 0: no se u
    SatelliteElevation [20]uint8 Elevaci'on, nos da el 'angulo sobre el horiz
    SatelliteAzimuth   [20]uint8 Direcci'on del sat'elite, 0: 0 grados, 255:
    SatelliteSnr       [20]uint8 Señal/ruido de cada uno de los sat'elites
}
```

Este mensaje trae la información del enlace actual con el GPS y se envía periódicamente en ciclos que decidimos en parámetros de conexión con el dispositivo. Otro parámetro, esta vez vinculado a la actuación sería:

```
type MissionItem struct {
    Param1          float32  par'ámetro variable en funci'on del comando.
    Param2          float32  par'ámetro variable en funci'on del comando.
    Param3          float32  par'ámetro variable en funci'on del comando.
    Param4          float32  par'ámetro variable en funci'on del comando.
    X               float32  latitud
    Y               float32  longitud
    Z               float32  altitud
    Seq             uint16   N'umero del item en la misi'on
    Command         uint16   Tipo de comando de navegaci'on por ejemplo 16 es
    TargetSystem    uint8    ID del sistema
    TargetComponent uint8
    Frame           uint8    Sistema de coordenadas que se utiliza
    Current         uint8    Misi'on actual no:0, si:1
}
```

```

        Autocontinue      uint8      Autocontinuar al siguiente objeto de misi\'on tra
    }

```

3.3. JdeRobot

```
labelsec:jderobot
```

3.3.1. Interfaces

JdeRobot expone varios interfaces pero en este capítulo explicaremos los que durante nuestro desarrollo hemos implementado:

- Pose3D. Utilizado para recoger los datos de actitud y la posición de la aeronave.

```

Pose3DData
{
    float x; /* x coord */
    float y; /* y coord */
    float z; /* z coord */
    float h; /* */
    float q0; /* qw */
    float q1; /* qx */
    float q2; /* qy */
    float q3; /* qz */
};

```

- Camera. Utilizado para servir imágenes.

```

class CameraDescription
{
    string name;
    string shortDescription;
    string streamingUri;
}

```

```

float fdistx;
float fdisty;
float u0;
float v0;
float skew;
float posx;
float posy;
float posz;
float foax;
float foay;
float foaz;
float roll;
};

```

- NavData. Utilizado para servir datos secundarios de actuación como velocidades lineales o angulares o el estado de la batería.

```

class NavdataData
{
    int vehicle; //0-> ArDrone1, 1-> ArDrone2
    int state; // landed, flying,...
    float batteryPercent; //The remaing charge of baterry %

    //Magnetometer Ardron2.0
    int magX;
    int magY;
    int magZ;

    int pressure; //Barometer Ardron2.0
    int temp;      //Temperature sensor Ardron2.0
    float windSpeed; //Estimated wind speed Ardron2.0
}

```

```
float windAngle;
float windCompAngle;

float rotX; //rotation about the X axis
float rotY; //rotation about the Y axis
float rotZ; //rotation about the Z axis

int altd; //Estimated altitude (mm)

//linear velocities (mm/sec)
float vx;
float vy;
float vz;

//linear accelerations (unit: g) ¿Ardron2.0?
float ax;
float ay;
float az;

//Tags in Vision Detectoion
//Should be unsigned
int tagsCount;
arrayInt tagsType;
arrayInt tagsXc;
arrayInt tagsYc;
arrayInt tagsWidth;
arrayInt tagsHeight;
arrayFloat tagsOrientation;
arrayFloat tagsDistance;
```

```
float tm; //time stamp  
};
```

- Extra. Utilizado principalmente para las órdenes de despegue y aterrizaje.

```
void land() - land drone.  
void takeoff() - takeoff drone.  
void reset()  
void recordOnUsb(bool record)  
void ledAnimation(int type, float duration, float req)  
void flightAnimation(int type, float duration)  
void flatTrim()  
void toggleCam() - switch camera.
```

3.3.2. Framework

3.3.3. ArDrone Server

3.3.4. UAV Viewer

3.4. MAVLink

labelsec:mavlink

3.5. Python y PyQt5

labelsec:python

3.6. Mapas y Geo-referenciación

labelsec:mapas

3.7. SITL

labelsec:SITL

Capítulo 4

Infraestructura Desarrollada

Descripción de las tecnologías que utilizas en tu trabajo. Con dos o tres párrafos por cada tecnología, vale.

Puedes citar libros, como el de Bonabeau et al. sobre procesos estigmérgicos [1].

También existe la posibilidad de poner notas al pie de página, por ejemplo, una para indicarte que visite la página de LibreSoft¹.

4.1. Sección 1

¹<http://www.libresoft.es>

Capítulo 5

AUV Commander

5.1. Arquitectura general

figura 5.1.

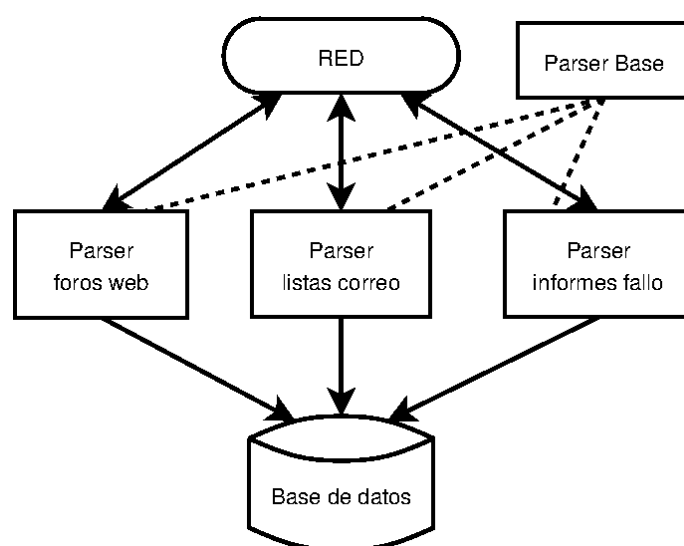


Figura 5.1: Estructura del parser básico

Capítulo 6

Experimentos

Capítulo 7

Conclusiones

7.1. Consecución de objetivos

Esta sección es la sección espejo de las dos primeras del capítulo de objetivos, donde se planteaba el objetivo general y se elaboraban los específicos.

Es aquí donde hay que debatir qué se ha conseguido y qué no. Cuando algo no se ha conseguido, se ha de justificar, en términos de qué problemás se han encontrado y qué medidas se han tomado para mitigar esos problemás.

7.2. Aplicación de lo aprendido

Aquí viene lo que has aprendido durante el Grado/Máster y que has aplicado en el TFG/TFM. Una buena idea es poner las asignaturas más relacionadas y comentar en un párrafo los conocimientos y habilidades puestos en práctica.

1. a

2. b

7.3. Lecciones aprendidas

Aquí viene lo que has aprendido en el Trabajo Fin de Grado/Máster.

1. a

2. b

7.4. Trabajos futuros

Ningún software se termina, así que aquí vienen ideas y funcionalidades que estaría bien tener implementadas en el futuro.

Es un apartado que sirve para dar ideas de cara a futuros TFGs/TFM.

7.5. Valoración personal

Finalmente (y de manera opcional), hay gente que se anima a dar su punto de vista sobre el proyecto, lo que ha aprendido, lo que le gustaría haber aprendido, las tecnologías utilizadas y demás.

Apéndice A

Manual de usuario

Bibliografía

- [1] E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, Inc., 1999.