
DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA EL GUIADO Y NAVEGACIÓN DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO: Instrumentación y vuelo de un cuadricóptero



PROYECTO FINAL DE CARRERA

Alumno: Bastida, Eric

Director: Lucas Genzeliz

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral

Junio 2019

DESARROLLO E
IMPLEMENTACIÓN DE UNA
PLATAFORMA PARA EL
GUIADO Y NAVEGACIÓN DE
UN VEHÍCULO AÉREO NO
TRIPULADO:
Instrumentación y vuelo de un
cuadricóptero

*Memoria que presenta para optar al título de Ingeniero en
Informática*
Bastida, Eric

Dirigida por el Ingeniero
Lucas Genzeliz

Codirigida por el Ingeniero
Nestor Nahuel Deniz

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral

Junio 2019

Recuerda mirar a las estrellas y no tus pies. Intenta dar sentido a lo que ves y pregúntate por lo que hace al universo existir. Sé curioso. Aunque la vida puede parecer difícil, siempre hay algo que puedes hacer y tener éxito.

-Stephen Hawking-

Agradecimientos

Si caminas solo, irás más rápido; si caminas acompañado, llegarás más lejos.

Proverbio chino

Se está terminando un gran viaje, y como en todo gran viaje vas aprendiendo muchísimas cosas en el transcurso del camino, haciéndote mejor persona. En este viaje he conocido compañeros de ruta que han aportado en mi, mucho de ellos. Es por eso que estoy realmente agradecido a todos los profesores que he tenido en cada materia que tiene esta hermosa carrera que he elegido; por sus conocimientos, por su paciencia y por sobre todo sus ganas de enseñar y de que nosotros aprendamos, ya que no es una tarea fácil. Además de docentes, quiero agradecer a mis directores por estar siempre disponibles cuando necesite ayuda para realizar este proyecto y en especial a la Dra. Marina Murillo que más allá de no aparecer en el documento como directora, fue incondicional brindándome su ayuda en gran parte del desarrollo del proyecto.

No fue un camino fácil, hubieron momentos de incertidumbre, miedos, nervios y desesperación. Por suerte, existieron personas que compartieron también gran parte del camino, y que actualmente, se han convertido en amigos de futuros viajes, por lo que les agradezco todo lo compartido hasta el momento. Y por último quiero agradecer profundamente a mi querida familia que siempre estuvo apoyándome en las ganas de seguir este viaje que está pronto a culminarse y en especial, quiero dedicar todo el esfuerzo realizado, a mi querida madre Liliana, que gracias a ella soy la persona que soy ahora, que siempre me inculcó en mi *que de la necesidad sale el ingenio, de rebúscársela para solucionar cualquier problema que se presente* y es por tal razón que he elegido la ingeniería, así que todo esto es gracias a vos madre.

Resumen

*La única forma de hacer un gran trabajo
es amar lo que haces*

-Steve Jobs-

Últimamente se ha visto que el mercado drones, es decir, los vehículos aéreos no tripulados, del inglés Unmanned Aerial Vehicle (UAV) se está expandiendo a usos cotidianos en la sociedad, a tal punto que han llegado a utilizarse en tareas tales como misiones de búsqueda y rescate, inspección de líneas eléctricas, actividades agrícolas, seguridad vial, lucha contra incendios forestales y hasta en aspectos recreativos, como captura y transmisión de imágenes aéreas. Sin embargo, en la actualidad hay pocas aplicaciones que permitan a personas sin un alto grado de especialización en la temática implementar algoritmos. Por tal motivo y para solventar este problema, se propone implementar un software donde sea posible poner en marcha estas ideas o emprendimientos.

De esta manera, el presente proyecto involucrará el desarrollo de una plataforma que provea de funcionalidades a más alto nivel con el propósito de poder implementar acciones de una manera mucho más sencillo para el usuario. Además, como caso particular se incluirá la instrumentación de un cuadricóptero, considerando cada etapa del armado del mismo: desde el ensamblado hasta la prueba de vuelo. Finalizando así con una aplicación sumamente personalizable y de código abierto.

Palabras claves: UAVs, drone, cuadricóptero, plataforma, código abierto.

Índice

Agradecimientos	VI
Resumen	VII
1. Introducción	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos	5
1.3. Alcance	6
1.3.1. Módulo de operación manual	6
1.3.2. Módulo de comunicación inalámbrica	6
1.3.3. Módulo de gráfico de datos	7
2. Análisis de requerimientos	8
2.1. Introducción	9
2.2. Diseño global	11
3. Componentes y armado del cuadricóptero	13
3.1. Hardware	14
3.1.1. Estructura del vehículo	14
3.1.2. Controlador Electrónico de Velocidad	15
3.1.3. Motores sin escobillas	15
3.1.4. Raspberry Pi 3	16
3.1.5. Navio2	16
3.1.6. Arduino UNO	18
3.1.7. Radio Control	18
3.1.8. Joystick	19
3.1.9. Router	19
3.1.10. Módulos XBee	20
3.1.11. Batería LiPo	20
3.1.12. Esquema de las conexiones del hardware	20
3.2. Procedimiento	21
3.2.1. Armado del cuerpo	21
3.2.2. Armado y configuración del autopiloto	21
3.2.3. Configuración para el acceso a la red	26
3.2.4. Instalación del firmware	27
3.2.5. Primeras pruebas	27

3.2.6. Conexión de componentes	29
3.2.7. Prueba de funcionamiento inicial	33
4. Desarrollo de la plataforma	34
4.1. Introducción	35
4.2. Diseño detallado de la plataforma	35
4.2.1. Diseño de interfaz	37
4.2.2. Diseño arquitectónico	38
4.3. Codificación y pruebas	38
4.3.1. Clase Vehículo	38
4.3.2. Clase Joystick	40
4.3.3. Clase Gráfico Datos	41
4.3.4. Clase HUD	43
4.3.5. Clase Gestor Parámetro	51
4.3.6. Clase Parámetro	52
4.3.7. Clase GUI becopter	54
4.3.8. Clase BEcopter	54
5. Prueba integral de la plataforma y del cuadricóptero	58
5.1. Introducción	59
5.2. Conceptos preliminares	59
5.3. Evaluación funcional del Cuadricóptero y la Plataforma	60
5.3.1. Verificación y validación de la plataforma	60
5.3.2. Verificación y validación del cuadricóptero	64
5.3.3. Prueba integral	70
6. Conclusión y trabajos futuros	80
6.1. Conclusión	81
6.2. Trabajos Futuros	82
A. Documento de Especificación de Requerimientos	86
B. Manual de usuario	102
C. Mockups de la interfaz gráfica del proyecto	121
D. Interfaz Gráfica del Usuario (GUI)	130
E. Diagrama de clases inicial del Proyecto	136
F. Diagrama de clases final del Proyecto	138
G. Anteproyecto	140
Bibliografía	159
Lista de acrónimos	161

Índice de figuras

1.1.	Aplicaciones agrícolas con drones	2
1.2.	Inspección de tendido eléctrico con drones	2
1.3.	Aplicaciones de emergencia	3
1.4.	Aplicaciones de búsqueda y rescate	3
3.1.	Estructura cuadricóptero de fibra de carbono	15
3.2.	Controlador Electrónico de Velocidad	15
3.3.	Motor sin escobillas	16
3.4.	Raspberry Pi 3	16
3.5.	Navio2	17
3.6.	Placa Arduino UNO	19
3.7.	Comando Radio Control	19
3.8.	Módulo de comunicación XBee	20
3.9.	Batería LiPo	21
3.10.	Diagrama en bloques de las conexiones iniciales	22
3.11.	Diagrama en bloques de las conexiones finales	23
3.12.	Cuerpo de cuadricóptero armado	23
3.13.	Esquema de instalación de hélices.	24
3.14.	Conexión entre Raspberry Pi 3 y placa Navio2.	24
3.15.	Pantalla de bienvenida luego de instalar el SO	25
3.16.	Captura de pantalla del Software MavProxy	28
3.17.	Ubicación de conexiones en el Rx	30
3.18.	Receptor o Rx de 4 canales	30
3.19.	Codificador PWM a SBUS implementado sobre Arduino.	31
3.20.	Esquema de conexiones	31
3.21.	Conexión de datos a los motores.	32
3.22.	Fuente variable regulable.	32
3.23.	Cuadricóptero armado para verificar funcionamiento.	33
3.24.	Ejecución del modulo de calibración de MavProxy	33
4.1.	Head Up Display	37
4.2.	Clase Vehículo	39
4.3.	Marco de referencia global.	39
4.4.	Clase Joystick	41
4.5.	Clase gráficos de datos o de atributos del vehículo.	41

4.6.	Captura de prueba animada en la inserción de datos, utilizando la clase gráfico datos.	42
4.7.	Clase Head Up Display	43
4.8.	Horizonte artificial indicando un giro a la derecha en descenso. .	44
4.9.	Indicador de rumbos	44
4.10.	Coordinador de giro.	45
4.11.	HUD v0.1	46
4.12.	Inconveniente gráfico al momento de rotar	46
4.13.	Problema gráfico en las esquinas	46
4.14.	Circunferencia con radio que satisface la longitud requerida. . .	47
4.15.	Error al momento de simular el Pitch	48
4.16.	Insertando un rectángulo perteneciente al piso.	49
4.17.	Mapeo del horizonte artificial.	49
4.18.	Ángulo de banco.	50
4.19.	HUD final con sus correspondientes atributos e instrumentos de vuelo.	51
4.20.	Clase gestor parámetro.	51
4.21.	Clase parámetro	53
4.22.	Clase Graphical User Interface de BEcopter	54
4.23.	Aplicación QT designer	54
4.24.	Clase principal BEcopter	55
5.1.	Plan de QA - Nivel 0	61
5.2.	Plan de QA - Nivel 1	62
5.3.	Plan de QA - Nivel 2	63
5.4.	Multímetro digital	64
5.5.	Esquema de conexiones eléctricas del cuadricóptero	65
5.6.	Fuente de alimentación para Arduino UNO 7 [V] - 800[mA] . .	66
5.7.	Fuente de alimentación Nitto de 12v - 5A!	67
5.8.	Fuente de alimentación para la Navio2 con 5V y 2500mA . .	67
5.9.	Esquema de conexiones para realizar prueba del motor	68
5.10.	Gráfico tiempo-RPM de los motores probados con el script . .	70
5.11.	Conexiones terminadas	71
5.12.	Módulo de conexión del proyecto	71
5.13.	Módulo de representación de datos	75
5.14.	Head Up Display	76
5.15.	Configuración del módulo de control manual	78
5.16.	Módulo de control automático del vehículo	78
5.17.	Pestaña de parametrización del Autopiloto	79
6.1.	Rover autónomo, propiedad del $\text{sinc}(i)$	83
6.2.	Proyecto Ziphius ¹	83
6.3.	Drone acuático & volador de la Universidad de Rutgers ² . .	84
6.4.	Drone aerodeslizador - Parrot ³	84
E.1.	Diagrama de clases inicial de BEcopter.	137

F.1. Diagrama de clases v2, perteneciente al proyecto BEcoper. . . .	139
--	-----

Índice de Tablas

5.1.	Suministro energía Arduino UNO	66
5.2.	Suministro energía de motores	66
5.3.	Suministro energía de Navio2	67

Capítulo 1

Introducción

Primer paso, debes tener un definitivo y claro objetivo. Segundo, debes tener los recursos necesarios para alcanzar lo que deseas; sabiduría, dinero, recursos y métodos. Tercero, enfoca todos tus recursos para el logro de tus metas.

-Aristóteles-

RESUMEN: En este capítulo se detallan los elementos que dan origen a este proyecto y componen la especificación del mismo. Se hace una reseña de los antecedentes identificados y cómo se justifica el trabajo realizado, aclarando los objetivos planteados para ellos y las restricciones tenidas en cuenta para el alcance y las tecnologías utilizadas.

1.1. Justificación

Una de las áreas de la aviación que ha experimentado un rápido crecimiento es aquella relacionada con los vehículos aéreos no tripulados (del inglés unmaned aerial vehicle UAV). Esta clase de vehículos pueden ser operados de forma remota o totalmente autónoma, presentan reducidos costos de operación [15, 14] y además no ponen en riesgo al operador. En los últimos años han ganado gran interés debido a su utilización en misiones de búsqueda y rescate [2], inspección de líneas eléctricas [6], actividades agrícolas [16], recolección de imágenes [1], seguridad [8], lucha contra incendios forestales [8, 10], entre otros.



Figura 1.1: Aplicaciones agrícolas con drones



Figura 1.2: Inspección de tendido eléctrico con drones

Los UAVs pueden clasificarse en varios tipos, en nuestro caso nos centraremos exclusivamente en los tipos de vehículos en función de su tipo de sustentación, como pueden ser: UAVs de ala fija o rotatoria.

UAV de ala fija

Los UAVs de ala fija son aeronaves que poseen un perfil alar que permite que la aeronave pueda moverse a través del aire y sea capaz de generar fuerzas sustentadoras para mantenerse en el aire. Este tipo de vehículo tienen una estética muy similar a los aeromodelos de radiocontrol. La principal característica de este tipo, es la gran autonomía que nos ofrecen ya que pueden estar volando varias horas gracias a su eficiencia aerodinámica. Estos son ideales para



Figura 1.3: Aplicaciones de emergencia



Figura 1.4: Aplicaciones de búsqueda y rescate

mapear grandes superficies de terreno ya que con una única batería se cubren grandes extensiones de terreno. Por este motivo son muy utilizados en trabajos de agricultura de precisión y de fotogrametría. A diferencia de los UAVs de ala rotatoria, con este tipo no es posible realizar vuelos estacionarios. Por tanto, no podremos realizar trabajos que requieran que el vehículo este volando fijo a una altura determinada como pueden ser, por ejemplo, los trabajos de inspección. Otra particularidad de este tipo es que no pueden despegar ni aterrizar en vertical. Para el despegue de necesitaremos una persona que se encargue de lanzarlo a mano o disponer directamente de una catapulta.

UAV de ala rotatoria

Los UAVs de ala rotatoria, o más conocidos como multirrotores, son los tipos más extendidos y más utilizados por los profesionales del sector. La principal diferencia de los multirrotores con respecto a los UAVs de ala fija radica en la forma en la que consiguen mantenerse en el aire. Mientras que los vehículos de ala fija consiguen la sustentación a través de su perfil alar, los multirrotores generan la sustentación a través de las fuerzas que generan las hélices de sus rotores. Según el número de rotores que monte el vehículo existen: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores). La principal característica de los multirrotores es su versatilidad. De una forma sencilla se le pueden instalar diferentes tipos de cámaras (cámaras RGB, multiespectrales, termográficas, etc) que nos permiten realizar un gran

abánico de trabajos. Además, con este tipo de UAV vamos a poder realizar vuelos estacionarios lo que nos va a permitir realizar ciertos trabajos que con uno de ala fija sería imposible realizar.

Actualmente en el mercado nacional no se han reportado empresas que se dediquen al desarrollo de UAVs, siendo los mismos importados, tanto su hardware como su software. Por otro lado, los UAVs disponibles no son de código abierto, lo cual implica que la adaptación de los mismos a las necesidades de clientes y/o empresas se ve dificultada. Desde el punto de vista académico-científico, la posibilidad de implementar algoritmos propios en este tipo de vehículos comerciales es prácticamente nula. Si bien existen empresas que se dedican al desarrollo de UAVs de código abierto, como lo es la empresa española Erle Robotics¹, pero los costos de adquisición de dichos vehículos son bastante elevados.

De lo expuesto anteriormente se desprende la necesidad de contar con una plataforma de desarrollo para UAVs. Una plataforma para este tipo de vehículos, es un sistema que sirve como base para hacer funcionar los módulos de hardware o de software. En lo que concierne al hardware hacemos referencia a los componentes electrónicos del UAV como pueden ser:

- Motores.
- Sensores como acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, etc.
- Periféricos de entrada y/o salida tales como tarjeta SD, puertos USB (*Universal Serial Bus*), entre otros.

Para poder obtener información de cada componente y gestionar sus interacciones es necesario que un software administre en un segundo plano estas tareas, y que de forma sencilla proporcione al usuario funcionalidades para manipular estos componentes electrónicos, con el propósito de realizar acciones de navegación sobre el vehículo.

Con el objetivo de solventar las deficiencias presentes en proyectos del mercado, tales como código privativo y escasa visualización de datos en forma evolutiva, se propone realizar el proyecto de código abierto e implementar un módulo de visualización de datos a través del tiempo, con el propósito de monitorear y controlar las variables de estado y controles del vehículo. De esta forma, la realización del Proyecto Final de Carrera (PFC) propuesto será de gran utilidad para el desarrollo de cualquier otro tipo de proyecto que involucre vehículos autónomos, ya que facilitará la tarea del operador para que el mismo enfoque su atención en sus propios objetivos.

Para la realización del PFC, se tendrá a disposición el equipamiento e instalaciones del Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional (*sinc(i)*), donde desempeñan sus actividades de investigación los directores propuestos. El *sinc(i)* fue creado en 2004 por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), siendo reconocido como unidad ejecutora de doble dependencia UNL-CONICET en 2014. Las tareas de investigación en el *sinc(i)* tienen como objetivo desarrollar nuevos algoritmos para el aprendizaje automático, procesamiento de señales, modelado y análisis de sistemas complejos, proporcionando tecnologías innovadoras para el avance de la salud, la agricultura de precisión, la bioinformática, la

¹Página web de Erle Robotics <http://erlerobotics.com/>

energía, los sistemas autónomos e interfaces hombre-máquina. El *sinc(i)* posee la infraestructura necesaria para el correcto desempeño del PFC propuesto, a saber: espacio físico, equipamiento informático, laboratorio de electrónica, software, códigos y algoritmos propios. Recientemente ha adquirido computadoras modelo Raspberry Pi², que operan en conjunto con placas Navio2³, las cuales contienen GPS, doble IMU (unidad de medición inercial), magnetómetro y barómetro, siendo de aplicación específica para navegación de vehículos autónomos. Además, cuenta con un kit de GPS con soporte de RTK (los cuales logran precisión centimétrica) y con modelos a escala de un automóvil tipo crawler y de un cuadricóptero. Asimismo, posee un centro de prototipado rápido que permite el desarrollo e implementación de sistemas embebidos a medida.

El desarrollo de este PFC impactará positivamente tanto en la industria nacional como en el ámbito académico, científico y tecnológico. En primer lugar, el alumno adquirirá el know-how (experiencia, conocimiento y habilidad) en el manejo de sistemas embebidos para el desarrollo de plataformas de código abierto para UAVs. Además, impulsará el salto tecnológico no sólo por el desarrollo de UAVs a nivel local con fines de entretenimiento, sino que también permitirá trasladar el conocimiento adquirido a la obtención de UAVs con fines comerciales, económicos y/o sociales, entre otros, contribuyendo fuertemente al desarrollo de la industria argentina. Desde el punto de vista personal, la realización del PFC propuesto aumentará el activo de conocimientos complementarios obtenidos en la carrera Ingeniería en Informática, ya que el mismo involucra temas relacionados como redes y comunicación de datos, sistemas embebidos y electrónica digital. Asimismo, contribuirá en la formación práctica y experimental, lo cual, en definitiva, es fundamental para el crecimiento de un profesional en este ámbito.

1.2. Objetivos

■ Objetivo General

Instrumentar el cuadricóptero con la placa de autopiloto Navio2 y el ordenador de placa reducida Raspberry Pi.

Diseñar e implementar una plataforma de desarrollo para UAVs.

■ Objetivos Específicos

Desarrollar un módulo que permita la comunicación inalámbrica entre el cuadricóptero y una PC (*Personal Computer*, Computadora Personal) para procesar la información adquirida.

Desarrollar un módulo que permita la adquisición de datos relevantes como ser posición, velocidad, aceleración y actitud.

Desarrollar un módulo de visualización de datos en tiempo real, el cual sea capaz de mostrar los datos provenientes de sensores que poseen alta frecuencia de muestreo.

Evaluar el funcionamiento de la plataforma desarrollada mediante la utilización de un modelo a escala de un cuadricóptero.

²Computadora reducida en tamaño y de bajo coste <https://www.raspberrypi.org/>

³Placa electrónica con un conjunto de sensores destinados para el control de navegación. <https://emlid.com/introducing-navio2/>

1.3. Alcance

El PFC propuesto consiste en desarrollar una plataforma para UAVs, que permita el control manual del mismo, además que permita la visualización de forma gráfica de los datos que fueron adquiridos de sus correspondientes sensores. Una vez desarrollada dicha plataforma será evaluada con un UAV tipo cuadricóptero. El desarrollo del proyecto estará restringido por las siguientes características:

1. La plataforma dispondrá del libre acceso al código fuente, es decir, de tipo código abierto distribuyéndose bajo la licencia del MIT.⁴
2. Estará orientado al uso de computadoras de escritorio.
3. El lenguaje de codificación utilizado será Python.
4. Dispondrá de una interfaz gráfica.
5. Las opciones de navegación que tendrá el cuadricóptero serán:
 - Ir a punto objetivo.
 - Aterrizar.
 - Despegar.
 - Estabilizarse.
 - Volver al inicio.

En lo que concierne a las funcionalidades de la plataforma serán limitadas por los siguientes módulos:

1.3.1. Módulo de operación manual

El módulo perteneciente al control en modo manual será el encargado de gestionar los comandos que serán enviados a nuestra cuadricóptero desde un joystick conectado a la PC. Estos comandos determinarán los movimientos del vehículo según la restricción 5.

1.3.2. Módulo de comunicación inalámbrica

Corresponde a la comunicación entre la PC y el cuadricóptero. Se desarrollará con tecnología inalámbrica, considerando un radio de cobertura según los dispositivos disponibles a nuestro alcance. Además, gestionará el tipo de comunicación entre el receptor y emisor, con eso hacemos referencia al protocolo de comunicación, velocidad de transferencia, entre otros. Por el mismo medio se transmitirán los datos obtenidos por los sensores como también las maniobras establecidas por el usuario de forma manual.

⁴Repositorio del proyecto <https://github.com/ERicBastida/BEcopter>

1.3.3. Módulo de gráfico de datos

Este módulo permitirá la selección del sensor de nuestro interés, y mostrará de forma gráfica cómo evolucionan los datos que se están obteniendo de los mismos en tiempo real. Debido a que la mayoría de los sensores utilizados emplean una frecuencia de muestreo alta, es necesario utilizar bibliotecas gráficas que sean capaces de cumplir con los requerimientos de tiempo real. Para asegurar este objetivo, se propone utilizar VisPy⁵ o similar, la cual está escrita en Python y diseñada específicamente para la visualización interactiva de gran cantidad de datos en forma rápida, escalable y sencillo. Con respecto a la adquisición de datos de los sensores, en el mercado existe un sinfín de éstos que son de utilidad para algún problema que se quiera resolver, como podrían ser: detección de temperatura, presión, humo, obtención de imágenes mediante una cámara o la captura de un video, entre otros.

En este PFC se utilizarán los sensores que nos proporciona la placa Navio2, a saber:

- 2 unidades de medición inercial MPU (*Múltiple Process Unit*) 9250 9DOF y LSM9DS1 9DOF. Son dispositivos electrónicos que miden e informan acerca de la velocidad, orientación y fuerzas magnéticas utilizando una combinación de acelerómetros, giróscopos y magnetómetros.
- 1 barómetro MS5611 para medir la presión atmosférica.
- 1 sistema de navegación por satélite U-blox M8N, el cual utiliza una combinación de las tecnologías Glonass/GPS (*Global Position System*)/Beidou.

⁵Página web vispy.org

Capítulo 2

Análisis de requerimientos

Caminar sobre el agua y desarrollar software sobre unos requisitos es fácil, si ambos están congelados.

-Rafael Bartolome-

RESUMEN: El presente capítulo contendrá una descripción del desarrollo de las etapas iniciales al proyecto. Como es sabido todo proyecto de cualquier tamaño es recomendable poder llevar una estructura que pueda favorecer el seguimiento y comprobar que este se está llevando a cabo según lo planificado. Pero antes de iniciar las tareas de desarrollo del proyecto es necesario principalmente definir que es lo que queremos hacer, por tal motivo debemos obtener información de las personas involucradas en el proyecto para saber qué es lo que realmente necesitan y poder obtener las necesidades reales, siempre y cuando sean realizables. Ya obtenido la información de los llamados *stakeholders*, se comienza a realizar modelos iniciales del futuro proyecto con el objetivo de presentarlos a los interesados y corroborar que el modelo cumple con todos los requerimientos obtenidos, y por lo tanto, empezar a iniciar las etapas de desarrollo. De esta manera este capítulo contendrá la descripción del desarrollo de las etapas de obtención y análisis de requerimientos y del diseño global del sistema que están incluidas en nuestro proyecto y además los inconvenientes en caso de que se hayan presentado

2.1. Introducción

La primera etapa de este proyecto consiste en obtener los requerimientos del personal interesado en el desarrollo del mismo (*Stakeholders*), que en nuestro caso son personal del *Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional sinc(i)*) la Dra. Marina Murillo, Ing. Lucas Genzeliz, Ing. Nahuel Denis y el Dr. Guido Sánchez.

El proceso de obtención de requerimientos ha consistido en una entrevista con el personal dónde se ha tenido una charla especificando las necesidades y naturaleza del proyecto y además, se han presentando las tecnologías disponibles para el desarrollo del mismo. Una vez obtenido los requerimientos, se inicia la actividad de estudiar el campo involucrado del proyecto, con el fin de entender el problema, buscar alternativas, validar y modificar o eliminar requerimientos.

Como la naturaleza del proyecto se origina en la necesidad de un software que pueda comunicarse con un vehículo aéreo no tripulado y además, poder enviarle acciones que puedan ser ejecutadas desde larga distancia tenemos que analizar el campo del *aeromodelismo*, por lo que el ejecutante del proyecto deberá tener los conocimientos necesarios para el mismo.

Para iniciar con el desarrollo del proyecto es necesario contar con herramientas; estas ayudan al ejecutante a realizar las tareas integradas en cada etapa del proyecto, por lo tanto, es de suma importancia elegir las indicadas para que el desarrollo se facilite. De esta manera, comenzaremos explicando las herramientas elegidas para el desarrollo del software.

- **Lenguaje de programación Python 2.7¹:** Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta programación orientado a objetos, imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma [7]. Además corre con la ventaja de tener una gran biblioteca que son de gran utilidad para el desarrollo de nuestro proyecto.
- **PyCharm²:** es un entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado en la programación de aplicaciones, específicamente en lenguaje Python. Es desarrollado por la compañía JetBrains. Proporciona análisis de código, un depurador gráfico, probador de unidades integrado, integración con sistemas de control de versiones (VCS (*Version Control System*)). El mismo está disponible en dos versiones: *Professional* y *Community*, siendo esta última la elegida por su gratuidad.
- **Qt Designer³:** Es un programa (módulo del Framework Qt) para desarrollar interfaces gráficas de usuario o del inglés Graphic User Interface (GUI) multilenguajes debido a que genera un archivo XML (*eXtensible Markup Language*) cuyo contenido es el formato del respectivo GUI (*Graphic User Interface*). Existiendo la posibilidad de convertirlo a Python, que es el lenguaje elegido para el desarrollo del presente proyecto.
- **PyQtGraph⁴:** es una biblioteca gráfica y de creaciones de GUI enteramente escrita en Python.

¹Página web de Python Argentina <http://www.python.org.ar/>

²Página web del IDE <https://www.jetbrains.com/pycharm/>

³Página web de Qt <https://www.qt.io/qt-features-libraries-apis-tools-and-ide/>

⁴Página web de PyQtGraph <http://www.pyqtgraph.org/>

mente construida en Python, basadas en las famosas bibliotecas **PyQt4**, **PySide** y **Numpy**. Está destinado para uso en aplicaciones matemáticas/científicas y de ingeniería. A pesar de estar completamente escrito en Python, la biblioteca es muy rápida debido a su gran apalancamiento con Numpy para el procesamiento de números y al marco de GraphicsView de Qt para una visualización rápida. Por último, PyQtGraph se distribuye bajo la licencia de código abierto MIT.

- **PyQt4**⁵: es una biblioteca gráfica de Qt y realizada bajo Python. Esta nos da la opción de poder realizar una interfaz gráfica a nuestra plataforma, para que sea de fácil uso y entendimiento [12]. Además, el software Qt Designer genera código en Python utilizando esta librería automáticamente.
- **Pygame**⁶: es un conjunto multiplataforma de módulos de Python diseñados para la escritura de videojuegos. Incluye gráficos y bibliotecas de sonido diseñado para ser utilizado con el lenguaje de programación Python. Cuenta con muchos tutoriales, muchos de ellos online.
- **Socket**: Al utilizar Python, todos los programas utilizan sockets para lograr comunicarse con otros programas que pueden estar en diferentes computadoras. Por lo que podemos definirlos como un objeto que define una conexión entre dos entidades de una red. De esta manera, un socket posee la dirección IP de la máquina, el puerto en el que escucha, y el protocolo que utiliza. Los tipos y funciones necesarios para trabajar con estos elementos están en el módulo socket de Python.
- **Dronekit**⁷: Es una API desarrollada por 3D Robotics en Python, flexible y abierta para el desarrollo de aplicaciones que se ejecutan desde la computadora a abordo y comunican con el controlador de vuelo ArduPilot con un enlace de baja latencia [3].

La API (*Aplication Programming Interface*) se conecta con los drones a través del protocolo de comunicación MAVLink, un sistema utilizado habitualmente para conectar una estación de control de tierra y un vehículo no tripulado para transmitir, por ejemplo, la ubicación y la velocidad. Gracias a este protocolo, la API tiene acceso a los datos de la telemetría a través de Bluetooth, WiFi o el sistema de radio 3DR a los parámetros del vehículo como también controlar el movimiento del mismo.

Entre las características destacadas tenemos:

- Desarrollar aplicaciones que mejoran el vuelo en piloto automático.
- Proporcionar características inteligentes a un dron como la visión a través de la computadora, la planificación de la ruta o el modelado en 3D.
- Permitir a un vehículo aéreo seguir objetivos mediante GNSS (del inglés Global Navigation Satellite System).

⁵Página web sobre la documentación de la herramienta <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt4/>

⁶Página web de Pygame <https://www.pygame.org/wiki/about>

⁷Página web de DroneKit <http://dronekit.io/>

- Facilitar el seguimiento de una ruta marcada con receptores GNSS.

Además es posible instalar en sistemas operativos Linux, Windows y Mac OS X, y la plataforma funciona tanto en computadoras de escritorio como en móviles. También se puede trabajar con el **SDK!** y acceder a la API en la nube.

- **Logging:** Este módulo define funciones y clases que implementan un sistema flexible de registro de eventos para aplicaciones y bibliotecas. Ya que por naturaleza del proyecto estamos utilizando hardware para el desarrollo del mismo, es de suma importancia llevar un registro de los acontecimientos de cada uno, y en caso de generarse algún tipo de inconveniente poder detectarlo con gran facilidad.
- **Sphinx⁸:** Sphinx es una herramienta que facilita la creación de documentación de una manera simple e inteligente, escrita por Georg Brandl y bajo la licencia BSD. Originalmente fue creada para la documentación de código escrita en Python, y cuenta con excelentes funcionalidades para la documentación de proyectos de software en varios idiomas. Sphinx se destaca por las siguientes características:
 - **Formatos de salida:** HTML (incluida la Ayuda HTML de Windows), LaTeX (para versiones PDF imprimibles), ePub, Texinfo, páginas de manual y texto sin formato.
 - **Amplias referencias cruzadas:** marcado semántico y enlaces automáticos para funciones, clases, citas, términos de glosario e información similar.
 - **Estructura jerárquica:** fácil definición de un árbol de documentos, con enlaces automáticos a documentos relacionados.
 - **Índices automáticos:** índice general así como índices de módulos específicos del idioma.
 - **Manejo de código:** resaltado automático utilizando el resaltador de Pygments.
 - **Extensiones:** prueba automática de fragmentos de código, inclusión de cadenas de documentación de módulos de Python (documentos API) y más de 50 extensiones contribuidas por usuarios en un segundo repositorio; La mayoría de ellos instalables desde PyPI.

En lo que concierne a los requerimientos y restricciones del proyecto han sido debidamente escritos en el Documento de Especificaciones de Requerimiento adjuntado en el Apéndice A.

2.2. Diseño global

Esta etapa del proyecto consiste en desarrollar un modelo que mejor represente las necesidades de los interesados y además, que sirva de guía para su respectivo desarrollo. Por tal motivo es necesario seleccionar un modelo que sea

⁸Página web de Sphinx <http://www.sphinx-doc.org/es/stable/intro.html>

de fácil comprensión, con poco lenguaje técnico con el propósito de involucrar en mayor medida a cualquier tipo de *stakeholder* ya que en definitiva ellos determinarán si el producto final satisface sus necesidades y es utilizable. Es por esto, que se decide analizar modelos que representen el proyecto de una forma muy superficial, es decir, una técnica que describa los comportamientos generales del software y sin entrar en mucho tecnicismo. A raíz de esto y con el conocimiento adquirido en lo que concierne a ingeniería de software se seleccionan dos técnicas, que son:

- **Mockup.**
- **Casos de usos (CU).**

La primer propuesta consiste en realizar una maqueta (del inglés *Mockup*) de la apariencia del software (GUI) y además, incluirle ciertos comportamientos mediante animaciones que den la sensación al usuario de que está utilizando el producto terminado. Por otro lado la segunda propuesta es realizar el modelo comportamental mediante casos de usos, esta técnica consiste en bosquejar un entorno que representa el ámbito donde están las opciones que brindará el sistema con sus respectivos actores o responsables de cada funcionalidad. Analizando las ventajas y desventajas de cada uno se decide utilizar la técnica de **Mockup** ya que es más representativa del producto real y no utiliza lenguaje técnico; como por ejemplo el utilizado en los CU (*include*, *extends*, *entorno* y *actores*). Para el desarrollo del mockup se utiliza la herramienta *Balsamiq Mockup*⁹ y el resultado es anexado en el Apéndice D.

Sin embargo, utilizar una técnica que detalle un aspecto superficial y un comportamiento general no ayuda en el inicio de implementación del sistema, es por eso, que en conjunto con el *mockup* y en el documento de especificación de requisitos del software *ERS* se decide implementar un modelo que ayude y/o simplifique más la tarea de codificación del software como lo es el *diagrama de clases*. En ingeniería de software, un diagrama de clases dentro de lo que es el lenguaje unificado de modelado (UML, por sus siglas en inglés, Unified Modeling Language) es un tipo de diagrama de estructura estática que describe un sistema mostrando las clases que los componen, sus atributos, operaciones, y las relaciones entre los objetos [5]. En el apéndice E se puede ver el respectivo diagrama inicial del software, cabe aclarar que el mismo durante todo el proceso del desarrollo del proyecto ha ido sufriendo cambios que eran necesarios, ya sea por nuevas funcionalidades, complementar las existentes o simplemente desecharlas ya que no cumplían su respectivo fin.

⁹Utilizando su versión gratuita de 30 días, página web <https://balsamiq.com/>

Capítulo 3

Componentes y armado del cuadricóptero

La mejor estructura no garantizará los resultados ni el rendimiento. Pero la estructura equivocada es una garantía de fracaso.

-Peter Drucker-

RESUMEN: Este capítulo contiene información sobre el procedimiento que se ha llevado a cabo en el desarrollo de la tercera etapa del proyecto. Esta etapa consiste principalmente en describir los pasos realizados para el armado del UAV de tipo cuadricóptero. Además, se incluirán los inconvenientes que se han presentado en el transcurso del desarrollo del mismo con sus respectivas alternativas y soluciones.

Cabe mencionar que el hardware aquí descrito como también las herramientas utilizadas han sido proporcionadas por el Research institute for signals, systems and computational intelligence (sinc(i)) con sede en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral y todo procedimiento riesgoso para el alumno ha sido siempre supervisado bajo personal idóneo en el tema.

3.1. Hardware

Antes de empezar con la descripción sobre el armado del UAV, es necesario tener en conocimiento el hardware que está involucrado en el vehículo y en consecuencia su funcionamiento, como por ejemplo, los sensores que forman parte del mismo y hacen que el cuadricóptero pueda realizar un vuelo de manera segura y controlada, el tipo de estructura usado para soportar los motores, la tecnología responsable de la comunicación y la computadora que procesará toda esa información. Es por eso que iniciamos esta sección con una lista del hardware utilizado y su respectiva descripción:

1. Estructura del vehículo.
2. Controlador Electrónico de Velocidad.
3. Motor sin escobillas.
4. Raspberry Pi 3.
5. Navio2.
6. Arduino UNO¹.
7. Radio Control².
8. Joystick.
9. Router¹.
10. Módulos XBee
11. Batería LiPo (*Lithium Polymer*).

3.1.1. Estructura del vehículo

La estructura del cuadricóptero como se puede ver en la Figura 3.1 consta en su parte inferior de un patín de aterrizaje que cumplen la función (como en los helicópteros) de soportar el vehículo cuando se apoye sobre tierra y mantener las hélices lo más alejado posible de piso cuando se encuentra en reposo. En su parte superior proporciona una base donde es posible instalar los dispositivos electrónicos que controlan al vehículo. Por último, desde la base se extienden 4 brazos con la función de ser soporte a los motores con sus respectivas hélices y además, en cada motor se le incluye su controlador electrónico de velocidad o ESC (del inglés *Electronic Speed Controller*).

El material de la estructura está hecho con fibra de carbono³, este consta con la propiedad de tener una elevada resistencia mecánica que será de suma

¹Estos dispositivos han sido utilizados únicamente en las etapas iniciales del proyecto para llevar adelante las pruebas iniciales de funcionamiento, por lo tanto y como se explicará más adelante, serán reemplazados por los módulos XBee.

²El comando de radio control es utilizado para corroborar el funcionamiento inicial de los motores en su conjunto. En cambio, al momento de utilizar el producto final de este proyecto el mismo será reemplazado por un joystick convencional.

³Aunque el mismo puede ser reemplazado por otro tipo de estructura, por ejemplo, un modelo impreso por una impresora 3D



Figura 3.1: Estructura cuadricóptero de fibra de carbono

importancia ya que el vehículo presenta altas probabilidades de sufrir algún choque o aterrizaje forzoso, además de ser un material sumamente liviano por lo que disminuirá la fuerza necesaria de los motores para mantener un vuelo y por tanto, menos consumo de batería.

3.1.2. Controlador Electrónico de Velocidad

Un ESC es un circuito electrónico con el propósito de variar la velocidad de un motor eléctrico. Además, por sus características puede funcionar como un freno dinámico.

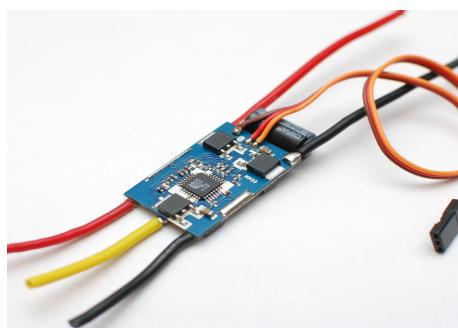


Figura 3.2: Controlador Electrónico de Velocidad

3.1.3. Motores sin escobillas

Son los encargados de transformar la energía eléctrica en mecánica generando movimiento en las hélices, y de esta manera dando propulsión al vehículo para poder volar.



Figura 3.3: Motor sin escobillas

3.1.4. Raspberry Pi 3

Es una computadora de tamaño reducido que trata de ofrecer las mismas funcionalidades y componentes a las de una PC común, entre sus componentes principales esta placa reducida tiene: memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, ranura para tarjeta SD, conector para una cámara, conectividad WiFi, Ethernet, Bluetooth y 40 pines GPIO (*General Purpose Input/Output*) donde es posible extender sus características instalando hardware extra como sensores, led, motores, interfaces, etc[9]. Además de estas características contamos con las ventajas de costo accesible y un consumo mucho menor, lo que nos da una independencia temporal generosa al conectarla con baterías.

Especificaciones:

- 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU (*Central Processing Unit*)
- 1GB RAM (Compartido con la GPU (*Graphics Processing Unit*))
- GPU Broadcom VideoCore IV



Figura 3.4: Raspberry Pi 3

3.1.5. Navio2

La placa Navio2 es un conjunto de sensores que se conectan sobre pines GPIO de una Raspberry Pi, transformándolo en un completo controlador de drones.

Esta placa controladora suministra a la Raspberry Pi de sensores y entradas que son de suma importancia para cualquier tipo de vehículo, con el objetivo de monitorear y obtener información para algún tipo de maniobra aérea, como también terrestre.



Figura 3.5: Navio2

Dentro del conjunto de sensores que contiene esta placa tenemos:

3.1.5.1. IMU

Unidad de Medición Inercial (IMU, del inglés *Inertial Measurement Unit*) es el componente principal de los sistemas de navegación. Son un conjunto de dispositivos electrónicos, generalmente, una combinación de acelerómetros, magnetómetros y giroscopios que miden e informan características del movimiento del vehículo como pueden ser velocidad, fuerzas magnéticas y orientación. Como es un aspecto importante en este tipo de sistemas la precisión, la placa controladora Navio2 contiene dos de estas unidades con el fin de proporcionar y corroborar su información mediante dos fuentes de referencia distintas. Estas dos unidades son:

1. MPU9250 9DOF.
2. LSM9DS1 9DOF.

3.1.5.2. GNSS

Obtener la posición del vehículo mientras este se encuentra en movimiento es un aspecto sumamente necesario, más cuando la visibilidad del ambiente dificulta hacerlo, es por eso que el GNSS (*Global Navigation Satellite System*) proporciona un posicionamiento geoespacial con cobertura global mediante un conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite. Las tecnologías utilizadas en el módulo U-blox M8N de esta placa son:

1. Glonass.
2. GPS.
3. Beidou.

3.1.5.3. Entrada/Salida del Radio Control (RC)

La placa Navio2 tiene una entrada habilitada para recibir información proveniente del emisor mediante un radio control, aceptando señales por los protocolos de comunicación mediante modulación por posición de pulso (PPM, del inglés Pulse Position Modulation) y SBUS únicamente.

3.1.5.4. Barómetro

El barómetro tiene sus usos provenientes de la meteorología para poder predecir el tiempo entre otras cosas, pero en este caso la placa controladora utiliza un barómetro MS5611 de alta precisión para medir la presión atmosférica y poder estimar la altura en el cual se encuentra el dispositivo (con 10cm de resolución).

3.1.5.5. Interfaces

- Entrada UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*)
- Bus de serie de datos *I²C* de sus siglas en inglés (Inter-Integrated Circuit)
- Conversor Analógico/Digital ADC
- Y por último, 14 salidas para servomotores mediante el protocolo PWM (*Pulse Width Modulation*)

3.1.6. Arduino UNO

El Arduino UNO es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. A diferencia de la Raspberry Pi 3, este está fabricado para realizar tareas más sencillas, ya que su poder de procesamiento y memoria son limitados.

- Microcontrolador ATmega328.
- 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM).
- 6 entradas analógicas.
- 32KB de memoria Flash.
- Reloj de 16MHz de velocidad.

3.1.7. Radio Control

Este control permite gobernar al vehículo a distancia de manera inalámbrica mediante señales de radio.



Figura 3.6: Placa Arduino UNO



Figura 3.7: Comando Radio Control

3.1.8. Joystick

Una palanca de mando o comúnmente conocido como *Joystick* es un dispositivo que por lo general contiene 2 palancas con dos ejes cada uno, donde es posible representar la posición de un punto según la posición física de este y un conjunto de botones que al ser presionados y según el software intermedio puede codificarse ciertas acciones. Este puede estar conectado mediante un cable USB o de manera inalámbrica. En nuestro caso, utilizaremos un Joystick con conexión USB ya que necesitamos que el envío de información sea confiable.

3.1.9. Router

Un router es un dispositivo de hardware que permite la interconexión entre computadoras en red. El router o enrutador es un dispositivo que opera en capa de nivel de 3 del modelo OSI. Así, permite que varias redes u ordenadores se conecten entre sí y, por ejemplo, compartan una misma conexión de Internet.

Este dispositivo es usado en las etapas iniciales de prueba y desarrollo del proyecto, con el fin de utilizar una alternativa más accesible al público en general y corroborar sus limitaciones, que como se expondrán más adelante tiene sus respectivas limitaciones. Siendo el mismo reemplazada por los módulos de comunicación XBee. Estos módulos permiten una mayor distancia de cobertura y funciona exclusivamente para una conexión, lo que logra una mayor confiabilidad que el router. Para fines de testeo y comprobación de funcionalidades el mismo representa una opción tentativa, ya que las pruebas se realizaran en un

ámbito controlado y de poca distancia.

3.1.10. Módulos XBee

Los módulos XBee⁴ son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes *fast point-to-multipoint* (punto a multipunto); o para redes peer-to-peer (punto a punto). Están diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible.

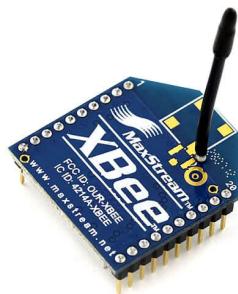


Figura 3.8: Módulo de comunicación XBee

3.1.11. Batería LiPo

La batería LiPo (Litio y Polímero) son baterías recargables, compuestas generalmente de varias células conectadas en paralelo para aumentar la capacidad de la corriente de descarga. Esta contiene un voltaje de 12v con 2200 mAh, suministrando dicha energía a los motores y además a la Raspberry Pi con 5V (*Volts*).

3.1.12. Esquema de las conexiones del hardware

Finalizando con la descripción del hardware interviniente en este proyecto, a continuación se ilustra un diagrama en bloques de la respectiva conexión de los componentes, con el propósito de tener en mente sus respectivas funcionalidades e interacciones entre cada uno. En la Fig. 3.10 se muestra el esquema inicial de conexiones, en el cual se puede ver que existen varias conexiones dirigidas al vehículo; la primera de todas es la interacción entre la Raspberry Pi - Router - PC, estos componentes relacionados tienen el propósito inicial de establecer la comunicación encargada de enviar y recibir información sobre:

- Estado de los sensores y general del vehículo
- Gestionamiento de comandos.

⁴Página web de XBee <https://www.digi.com/xbee>



Figura 3.9: Batería LiPo

La segunda conexión intervienen los elementos Navio2- Arduino - Receptor RC - Radio Control, este tiene el propósito (limitante) de enviar únicamente los comandos de vuelo del Radio Control al vehículo utilizando radio frecuencia, y como se puede apreciar esta funcionalidad ya es posible realizarla en la primera conexión, por lo tanto para fines de pruebas esta configuración es necesaria/obligatoria por las especificaciones del firmware instalado en la Raspberry Pi 3. Como el objetivo de este proyecto no es acomplejar el procedimiento sino simplificarlo, en la Fig. 3.11 se puede apreciar las conexiones finales pretendidas, brindando más detalle de su comportamiento en el capítulo 5.

3.2. Procedimiento

3.2.1. Armado del cuerpo

Una vez ya descripto el hardware adquirido para el desarrollo de esta etapa, estamos habilitados para iniciar el proceso del armado del vehículo. En primera instancia se comienza con el cuerpo del cuadricóptero, esta actividad es realizada en base a las instrucciones que nos proporciona el vendedor *ValueHobby*⁵ obteniendo el cuerpo armado como se puede observar en la Fig. 3.12. Como medida de seguridad antes de realizar las pruebas se han extraído las hélices. Pero al momento se ser instaladas con el propósito de que el cuadricóptero no se tumbe con respecto a su eje de orientación cuando este se encuentre en el aire se deben colocar las hélices pares de tal manera que su propulsión al momento de girar sea en sentido contra-horario y las hélices impares deben estar colocadas en sentido horario tal como se ven en la Fig. 3.13 .

3.2.2. Armado y configuración del autopiloto

En esta sección se describe el armado del piloto del cuadricóptero, este va a ser el encargado en gestionar todos los sensores, enviar señales a los motores y administrar la información generada por estos sensores con el fin de ser enviadas a una maquina cliente y que este las pueda interpretar, entre otras cosas.

⁵<http://www.valuehobby.com/media/wysiwyg/upload/Manual/bumblebee-manual.pdf>

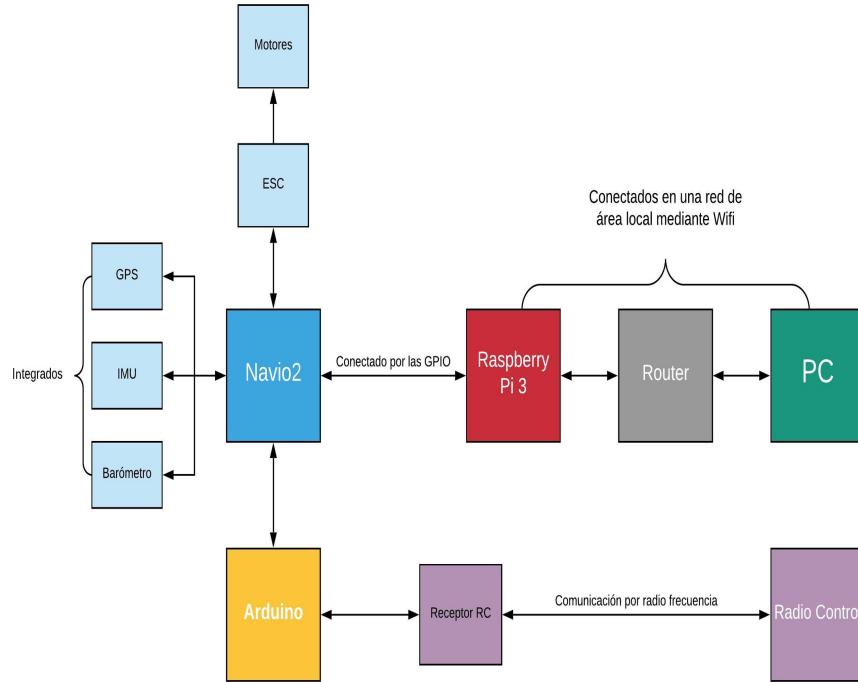


Figura 3.10: Diagrama en bloques de las conexiones iniciales

Para comenzar con el armado debemos instalar la placa Navio2 sobre la Raspberry Pi 3, proporcionando así los sensores indispensables para el control, monitoreo y vuelo del vehículo ya que el ordenador de placa reducida Raspberry Pi no cuenta con estos sensores de forma nativa. Por lo tanto, se procede a conectar los 40 pinos GPIO sobre la placa Navio2, como se muestra en la Fig. 3.14.

Luego se procede a conectar la antena GNSS sobre la placa Navio2. Una vez ya conectado se debe verificar el correcto funcionamiento de todos los sensores presentes, para eso debemos tener un software que gestione eficazmente todo el hardware y sea el intermediario entre estos dispositivos electrónicos y el usuario, además de proporcionar servicios de utilidad para el mismo, en otras palabras, un sistema operativo (SO). Antes de instalar cualquier sistema operativo hay que tener en cuenta que estamos en presencia de una computadora reducida, es decir, el hardware de los componentes del mismo como memoria, procesador, puertos de entrada y salida, etcétera no son los mismos a las PC convencionales; por poner un ejemplo, el procesador que contiene la Raspberry es un ARM1176JZF-S, con esto queremos decir que el CPU en si mismo está fabricado bajo una arquitectura con un conjunto reducido de instrucciones (o por sus siglas en inglés *RISC - Reduced instruction set computing*) en comparación a un CPU que son utilizados normalmente en una PC hogareña. Por tal motivo, es necesario de un SO que se adapte a estas características; afortunadamente

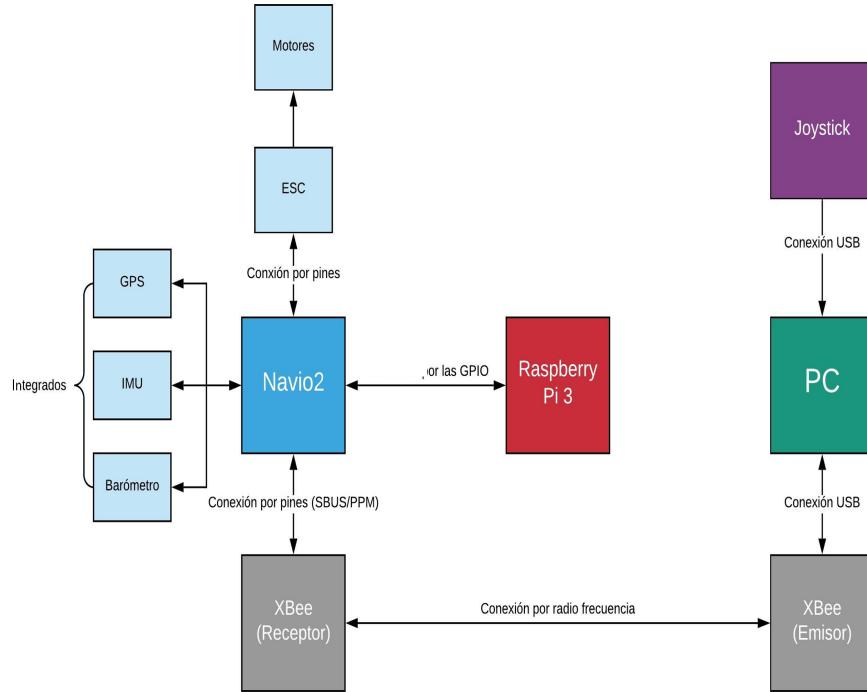


Figura 3.11: Diagrama en bloques de las conexiones finales



Figura 3.12: Cuerpo de cuadricóptero armado

existen varias organizaciones o empresas que desarrollan y distribuyen este tipo de producto, por ejemplo, *Canonical Ltd* y *Microsoft* han adaptado sus sistemas operativos para este tipo de computadoras. En nuestro caso utilizaremos

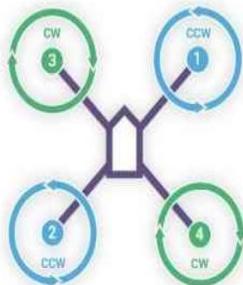


Figura 3.13: Esquema de instalación de hélices.

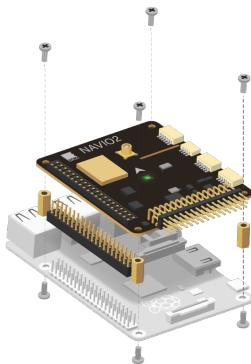


Figura 3.14: Conexión entre Raspberry Pi 3 y placa Navio2.

un SO proporcionado por la empresa *Emlid* basado en una distribución de Linux llamada *Raspbian* (acrónimo entre Raspberry Pi y Debian), ya que viene preparado para que funcione directamente con nuestra placa Navio2 (ya que es un producto fabricado por la misma empresa).

Una vez seleccionado el SO a instalar, se procede a descargar la imagen y grabarla en una tarjeta SD, una vez realizado este paso se carga la tarjeta SD en la ranura disponible en la Raspberry Pi, se enchufa un teclado, mouse y un conector HDMI que se encuentra conectado a un monitor, y por último se procede a encender el dispositivo mostrándonos la siguiente imagen:

Como se puede observar en la Fig.3.15 la pantalla de bienvenida nos muestra los siguientes pasos que hay que seguir para configurar nuestro piloto.

- **Paso 1:** Se selecciona el tipo de vehículo que se va a manejar, utilizando el comando *update-alternatives*. Esta función se encarga de seleccionar como predeterminada la opción ingresada dentro de otras alternativas, es decir, es posible que tenga en el sistema varios programas instalados a la vez que realizan la misma función. Por ejemplo, muchos sistemas tienen varios editores de texto instalados al mismo tiempo, lo que deja la elección de qué editor de texto utilizar en manos del usuario, si éste lo desea, pero hace difícil que un programa elija la opción correcta si el usuario no ha definido ninguna preferencia. En nuestro caso es el tipo de auto-piloto



```

# # #
# # #
# # #
# # #

To enable ArduPilot on boot:
STEP 1:
Choose your vehicle, board and ArduPilot version using update-alternatives
(Please, read carefully all options and select appropriate one for either Navio
2 or Navio+)
    - sudo update-alternatives --config arducopter
    - sudo update-alternatives --config arduplane
    - sudo update-alternatives --config ardurover

STEP 2:
Set your GCS IP
    - sudo nano /etc/default/arducopter
    - sudo nano /etc/default/arduplane
    - sudo nano /etc/default/ardurover

STEP 3:
Reload configuration by issuing these commands
    - sudo systemctl daemon-reload

To start ardupilot (this won't load ArduPilot on boot):
    - sudo systemctl start arducopter
    - sudo systemctl start ardulane
    - sudo systemctl start arduover

STEP 4:
Enable service on boot:
    - sudo systemctl enable arducopter
    - sudo systemctl enable ardulane
    - sudo systemctl enable arduover

To disable ArduPilot on boot:
    - sudo systemctl disable arducopter
    - sudo systemctl disable ardulane
    - sudo systemctl disable arduover

IMPORTANT:
To show this message one more time type "emlidtool ardupilot"
* Documentation: https://docs.emlid.com/

```

Figura 3.15: Pantalla de bienvenida luego de instalar el SO

como puede ser arducopter, ardulanner y ardurover. Como estamos por utilizar un cuadricóptero ingresamos:

```
> sudo update-alternatives --config arducopter
```

- **Paso 2:** Se debe ingresar dentro del archivo `/etc/default/arducopter` el IP perteneciente al GCS (*Ground Control Station*), es decir, este archivo contiene la dirección IP de la computadora que enviará y recibirá información del vehículo. Además, brinda la opción de seleccionar la interfaz por el que se realizará la comunicación. En nuestro caso lo haremos realizaremos mediante tecnología WiFi y utilizando el protocolo UDP⁶.
- **Paso 3:** Una vez ya seleccionado el tipo de vehículo a utilizar e ingresado el IP de nuestro GCS se debe iniciar los servicios y procesos proporcionados por arducopter (ya que este se encargará de administrar las funcionalidades pertinentes), para eso se utiliza el gestor del sistema y servicios `systemd` de Linux con el objetivo de iniciar un conjunto nuevo de procesos y servicios encapsulados en Arducopter, para eso utilizamos los siguiente comandos :

```
> sudo systemctl daemon-reload
> sudo systemctl start arducopter
```

⁶Es posible también utilizar el protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*), pero la razón por la cual se emplea este método es porque es un protocolo no orientado a la conexión, por lo tanto como estaremos realizando maniobras que son ejecutadas por el vehículo en tiempo real necesitamos la menor latencia posible y no estar esperando paquetes de confirmación todo el tiempo

- **Paso 4:** Por último es deseable que los servicios proporcionados por Arducopter se inicien cada vez que el vehículo se encienda, por tal motivo se ingresa el último comando :

```
> sudo systemctl enable arducopter
```

3.2.3. Configuración para el acceso a la red

Entre las opciones de conexión a la red que dispone la Raspberry Pi 3, podemos identificar que el mismo tiene una entrada Ethernet como también un módulo interno Wi-Fi, por lo tanto es necesario configurar dichas interfaces para poder conectarnos mediante un cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*) con un conector RJ45, como también por tecnología *Wireless*. Por lo que dentro del sistema operativo del vehículo y sobre la consola se ingresa el siguiente comando

```
> sudo ifconfig
```

Con este comando podemos verificar nombres de interfaces presentes y si se encuentran en actual funcionamiento. En caso de observar ningún tipo de tráfico por estas interfaces se procede a configurarlas, para esto se utiliza el mismo comando pero con la opción de activar la interfaz deseada, en nuestro caso queremos activar la interfaz del módulo interno de Wi-Fi, para eso ingresamos el siguiente comando

```
> sudo ifconfig intwifio up
```

Una vez ya activo podemos buscar las redes disponibles y que son captadas por el módulo, utilizando el siguiente comando

```
> iwlist wlan0 scan
```

Con este comando nos muestra mediante una lista las redes captadas por el módulo, una vez que hayamos encontrado la red de nuestro interés podemos conectarnos con el siguiente comando

```
> iwconfig wlan0 essid "Nombre de Red" key "Contraseña"
```

y finalmente procederemos a obtener nuestra IP y conectarnos con la siguiente función :

```
> sudo dhclient wlan0
```

En caso de querer almacenar esta red e indicarle al sistema operativo que es nuestra red por defecto podemos modificar el archivo *wpa_supplicant.conf* ingresando el nombre de la red y su correspondiente clave. Por último, se reinicia y una vez iniciado el sistema se comprueba su conectividad realizando chequeo de conexión con algún tipo de página en internet, por ejemplo, Google utilizando el siguiente comando

```
> ping 8.8.8.8
```

3.2.4. Instalación del firmware

Una vez ya comprobado la conectividad a la red y configurado el sistema operativo, es necesario instalar el *firmware* encargado de gestionar todos los sensores que se han incluido a la Raspberry mediante la placa Navio2, con el objetivo de poder administrar esta información y poder enviarla al *GCS*. Para instalar el firmware se procede a descargarlo desde el mismo SO del vehículo mediante el siguiente comando

```
pi@navio: ~\$ wget http://firmware.eu.ardupilot.org/Copter/stable/
      navio2-quad/arducopter-quad
pi@navio: ~\$ chmod +x arducopter-quad
```

Una vez descargado el firmware se desea que los servicios ya instalados de Arducopter utilicen dicho firmware actualizado, por lo tanto se procede a modificar el archivo /etc/systemd/system/ardupilot.service. Modificando la línea

```
#ExecStart=/bin/sh -c "/home/pi/path/to/your/binary \${{ARDUPILOT\_OPTS
}}"
```

por

```
#ExecStart=/bin/sh -c "/home/pi/arducopter-quad \${{ARDUPILOT\_OPTS\}}"
```

3.2.5. Primeras pruebas

Ya instalado el firmware dentro de la Raspberry Pi estamos en condiciones de poder hacer nuestras primeras pruebas, para esto, dentro del mismo sistema operativo se encuentran scripts proporcionados por Emlid para poder observar los datos generados por los sensores. Al iniciar las primeras pruebas se obtuvieron resultados erróneos debido a que los sensores no estaban correctamente calibrados. Por este motivo, para realizar estas correcciones utilizamos las herramientas recomendadas y proporcionadas por la empresa ArduPilot como es el software **MavProxy** (Fig.3.16), esta aplicación muestra a través de una consola todos los datos obtenidos de los sensores, estado del vehículo, entre otras cosas, siendo lo más importante poder calibrar los sensores. Así que una vez iniciado el software se prueba la opción de calibrarlos. Al momento de iniciar el proceso surge el inconveniente de no poder iniciarla; ya que para realizar dicha acción es de suma importancia tener conectado el radio control al vehículo. Esto genera un inconveniente al momento del desarrollo de esta fase ya que la compra de un radio control conllevaría un tiempo extra en el cronograma del proyecto. Buscando alternativas en conjunto se descubre que es posible realizar la calibración mediante un script que debíamos codificar. Analizando esta propuesta se descubre que para generarla es necesario estudiar las bibliotecas involucradas en el script, lo que conlleva un tiempo considerado, ya que únicamente el objetivo

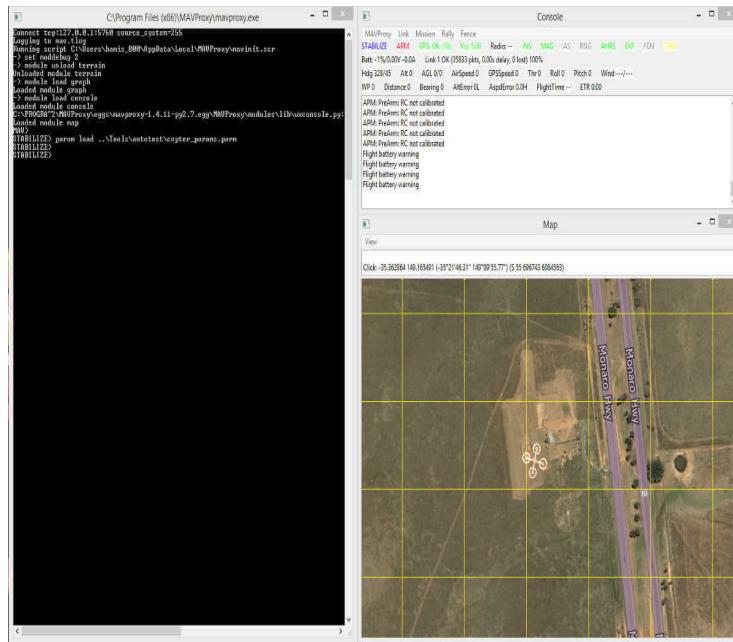


Figura 3.16: Captura de pantalla del Software MavProxy

de esta fase es realizar la comprobación funcional de estos dispositivos. De esta manera se obtiene de manera provisoria un radio control como se ilustra en la Fig.3.7

Este radio control envía las señales por 4 canales independientes, que corresponden a sus dos palancas donde cada una contiene 2 ejes (*eje x* y *eje y*, de ahí sus 4 canales). Por lo tanto, el receptor (o *RX*) tendrá 4 cables con información de cada canal los que deberán estar conectado al vehículo. Prestando atención en las especificaciones mencionadas en la sección 3.1.5.3 el vehículo solo dispone de una única entrada compatible con PPM o SBUS. Por lo que aquí surge otro problema, debemos encontrar la forma de poder convertir las señales del radio control que se encontraban en PWM y convertirlo a PPM o SBUS para que el vehículo pueda interpretar esta información. Para solucionar este problema se plantean 3 alternativas:

1. Comprar un radio control con su respectivo receptor compatible con el vehículo.
2. Realizar manualmente un conversor de PWM a PPM o SBUS con componentes electrónicos desde cero.
3. Implementar el conversor sobre una placa Arduino UNO.

Para estas propuestas se realiza el siguiente análisis:

Propuesta 1: La adquisición de un nuevo radio control más allá de sus futuros usos conllevaría un elevado costo adicional para el proyecto ya que el mismo tiene un valor de \$8000⁷, además atrasaría el cronograma los días que se

⁷Fecha consultada, septiembre del 2017

deban esperar el producto desde su ciudad de origen.

Propuesta 2: Consiste en realizar la compra de los componentes electrónicos de tipo CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) CD4001⁸ y CD40106⁹ con un precio estimado de \$100. A pesar de su bajo costo de implementación y siendo la mano de obra realizada por el profesor de la cátedra Electrónica Digital, es una tarea ajena al ejecutante del proyecto, por lo que no complementaría los conocimientos del alumno.

Propuesta 3: Esta propuesta consiste en implementar la función de conversión de PWM a PPM o SBUS mediante un script que se implementará sobre la placa Arduino, donde se conectarán los cables provenientes del Rx a sus entradas y retornará en una de sus salidas un único cable con la información codificada en PPM o SBUS como estaba especificado en el sitio web del fabricante. El precio estimado de la placa Arduino UNO es de \$200, pero existen versiones reducidas como el Arduino Nano que cuentan con un precio a la mitad del Arduino UNO. De manera conveniente se contaba con un Arduino UNO, por lo que no hacia falta realizar una compra. Además, la implementación de este algoritmo contribuye al crecimiento de las aptitudes del ejecutante del proyecto como estudiante de Ingeniería en Informática. Por lo que finalmente se decide realizar la propuesta 3. Una vez realizada se implementa sobre la placa Arduino UNO y se comprueban los resultados con un osciloscopio, dándonos un resultado favorable.

3.2.6. Conexión de componentes

Antes de comenzar a describir el proceso de cableado del vehículo se comienza conectando el receptor del comando radio control con el Arduino UNO que va a ser el encargado de recibir las señales PWM y convertirlas en SBUS momentáneamente para poder enviarlas a la Navio2. Hay que tener en cuenta que la ubicación de los conectores y los pines del receptor llevan un orden específico. Por tal motivo, se investiga dicho orden, pero sin encontrar información relevante, hasta ubicar con un transmisor de la misma empresa y deducir las siguientes conexiones

Como se puede observar en la Fig.3.17 la columna izquierda de pines le pertenece a los negativos, la columna central a los positivos y la última columna perteneciente a datos; esta es la de interés ya que por cada *conector_i* estaríamos recibiendo señal PWM del emisor correspondiente al *canal_i*, por lo que cada una son las entradas a nuestro Arduino UNO para poder realizar la codificación. Antes de iniciar la conexión con el codificador se comprueban las señales mediante un osciloscopio.

Ya identificados los cables correspondientes a cada canal, se conectan los mismos a la placa Arduino UNO. Por último, se conecta la salida proporcionada por el codificador a la entrada del vehículo, asegurando así una señal de tipo SBUS como lo indica su fabricante.

Con respecto a las conexiones eléctricas que lleva el cuadricóptero, recurrimos a basarnos en la Fig. 3.20, donde muestra gráficamente el orden que llevan las conexiones con sus respectivos cables de colores.

Un aspecto a tener en cuenta es que no todos los componentes que se visuali-

⁸<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/26834/TI/CD4001.html>

⁹<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/26839/TI/CD40106.html>



Figura 3.17: Ubicación de conexiones en el Rx

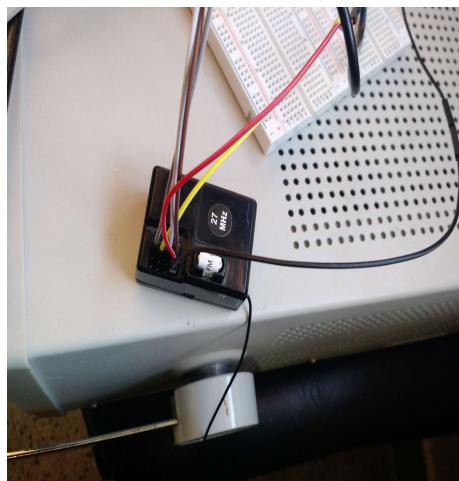


Figura 3.18: Receptor o Rx de 4 canales

zan en la Fig. 3.20 están presentes al momento de la instrumentación ya que los dispositivos marcados con los números (1, 2 y 3) son de tipo comunicación y se supone que con el módulo interno de *WiFi* podríamos sustituir estos elementos. Siendo estas alternativas los siguientes elementos:

1. Receptor de radio frecuencia.
2. Módulo de telemetría por USB.
3. Módulo de telemetría por UART.

Por lo tanto se procede a realizar las conexiones mostradas. En primera medida se inicia conectando los motores del cuerpo del cuadricóptero con los pines de la Navio2 como se puede observar en la Fig.3.21

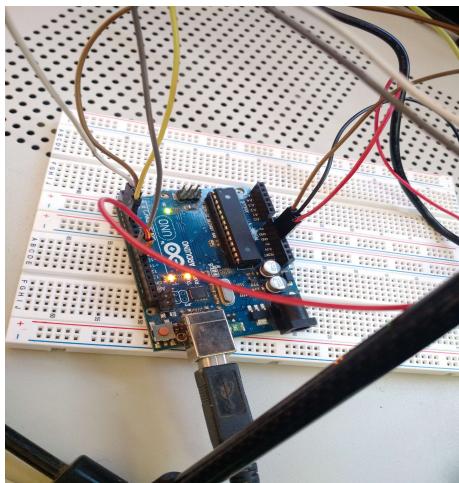


Figura 3.19: Codificador PWM a SBUS implementado sobre Arduino.

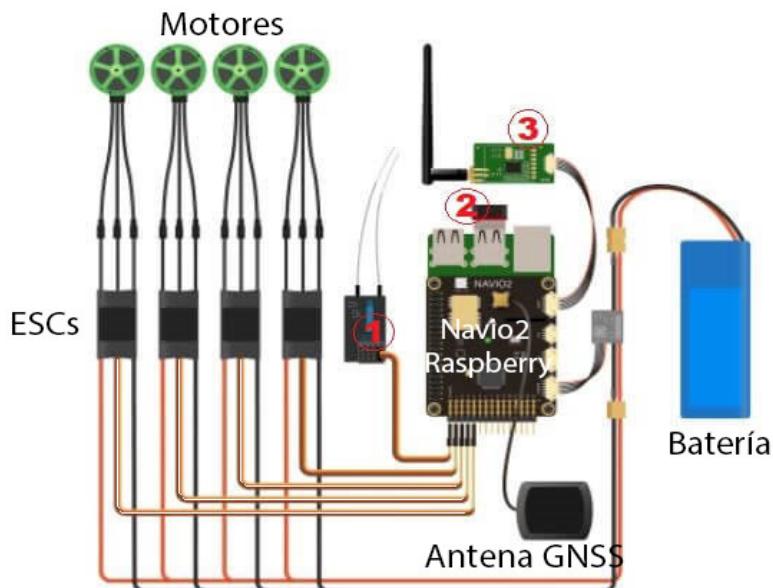


Figura 3.20: Esquema de conexiones

Después de haber hecho las conexiones correspondientes a los motores, es necesario suministrarle energía de algún tipo de fuente para realizar las pruebas iniciales, es por eso que antes de conectar la batería LiPo se considera la siguiente cuestión: ya que esta tiene una carga útil limitada se decide utilizar una fuente variable regulable disponible en el laboratorio de electrónica del sinc(i) con el objetivo de realizar las pruebas necesarias sin estar dependiendo de la carga de la batería. Antes de realizar la conexión se ajusta el voltaje según la batería Lipo existente (12V), dejando libre la cantidad de amperes para que consuma

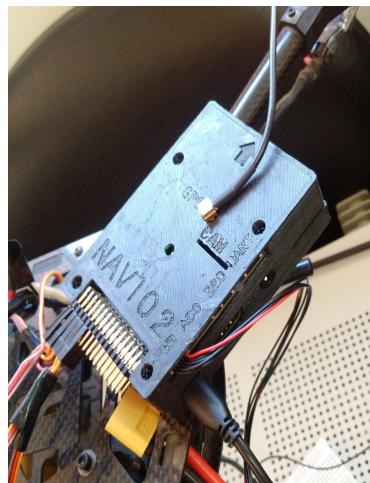


Figura 3.21: Conexión de datos a los motores.

lo que necesite. La fuente utilizada se puede observar en la Fig. 3.22



Figura 3.22: Fuente variable regulable.

En la Fig. 3.20 se puede ver que la batería suministra energía a los cuatro motores y al vehículo, por lo tanto se decide alimentar al vehículo con el transformador de fábrica y suministrar energía a los motores con la fuente. Esta fuente como se puede observar en la Fig. 3.22 contiene un único par de salida (positivo y negativo) por lo que es necesario multiplexar esta salida a 4 pares de salidas más. Para eso se decide armar y soldar un conjunto de cables con sus respectivos conectores como se puede observar en la Fig. .

Por último, se verifican las conexiones pertinentes a los planos y se buscan imperfectos en las uniones, en caso de encontrar algún tipo de estos se procede a repararlos. En la Fig. 3.23 se puede observar el vehículo conectado.

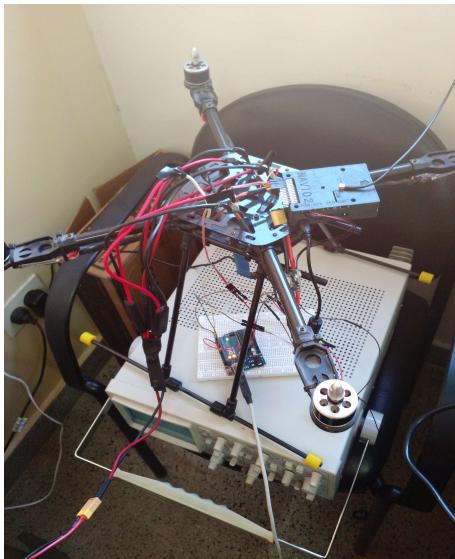


Figura 3.23: Cuadricóptero armado para verificar funcionamiento.

3.2.7. Prueba de funcionamiento inicial

Como etapa final y con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de nuestro vehículo, se inicia el proceso de calibración de sensores, para eso se decide utilizar **Mavproxy** seleccionando el módulo de calibración y consecuentemente realizando los pasos que se nos indican de manera sencilla como se puede observar en la Fig. 3.24.

Una vez concluida la etapa de calibración se procede a enviar misiones de prueba, como por ejemplo elevarse del suelo 1 metro desde la posición inicial sin tener instalado las hélices por motivos de seguridad, dándonos como resultados que el vehículo interpreta los comandos. Aunque estas pruebas fueron realizadas de modo superficial, en el capítulo 5 se profundizará que el funcionamiento integral de los componentes responda de manera correcta.

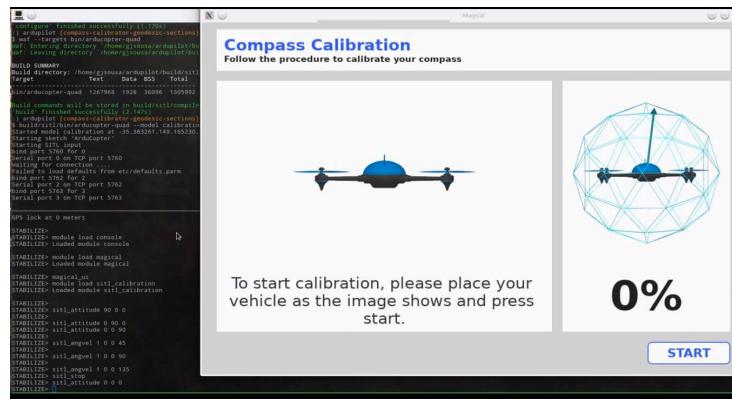


Figura 3.24: Ejecución del modulo de calibración de MavProxy

Capítulo 4

Desarrollo de la plataforma

Mi trabajo en el software libre está motivado por un objetivo idealista: difundir libertad y cooperación. Quiero motivar la expansión del software libre, reemplazando el software privativo que prohíbe la cooperación, y de este modo hacer nuestra sociedad mejor.

-Richard Stallman-

RESUMEN: En este capítulo se describirá todo el proceso realizado de la fase denominada **Desarrollo de la plataforma**, que forma parte del presente proyecto. En esta fase se contemplan las tareas de *Diseño detallado de la plataforma* y *Codificación* del mismo. En aspectos generales se define de manera más específica y en base al desarrollo global ya realizado en etapas anteriores, todo el comportamiento que incluirá la plataforma, es decir, funcionalidades de cada módulo, GUI, la lógica interna correspondiente a cada uno y sus respectivas interacciones.

4.1. Introducción

En el ámbito informático, como es sabido, la etapa de codificación del software generalmente es la que más tiempo abarca. Por esta razón, no es de sorprender que a medida que vayamos avanzando en los objetivos, herramientas, planificaciones, diseño y lógica del software estén bajo un constante cambio, ya que se van presentando obstáculos, alternativas e incompatibilidades que no han sido previstos en etapas iniciales. De esta manera, se irán ilustrando durante este capítulo capturas del estado del proyecto en las distintas etapas del mismo, con el objetivo de poder ver el crecimiento y las técnicas utilizadas a medida que se va evolucionando y de esta manera poder aprender las estructuras que uno debe implementar en etapas iniciales con el fin de no cometer los mismos errores.

4.2. Diseño detallado de la plataforma

Un diseño de software es una descripción de la estructura del software que se va a implementar, los datos que son parte del sistema, las interfaces entre los componentes del sistema y, algunas veces, los algoritmos utilizados.

(Ian Sommerville, 2005, p71)

Antes de iniciar directamente con la codificación, es necesario realizar un diseño de todo lo que queramos hacer, esto genera un diagrama de tareas a seguir que ayuda al ejecutor del proyecto tener planificado las tareas generales que debe realizar en el transcurso del mismo y no estar pendiente de como proseguir una vez finalizada cada tarea y re-planificar constantemente el hilo del proyecto. Es por tal motivo que la fase de diseño del presente proyecto se ha dividido en dos: la primera abarca un diseño global, meramente con la intención de contar con un panorama general del comportamiento del software/hardware y además, poder mitigar la incertidumbre del ejecutor del proyecto, al establecer los direccionamientos generales. En base a la documentación que se ha hecho en etapas anteriores podemos empezar a entablar de forma más precisa los procedimientos o tareas a realizar, lo que conlleva encarar la segunda parte del diseño.

Según Pressman[11] esta etapa produce los siguientes diseños:

- **Diseño de datos:** El diseño de datos esencialmente se encarga de transformar el modelo de dominio de la información creado durante el análisis [11]. En el caso particular de este proyecto el diseño de datos no juega un papel determinante dado que la herramienta de software propuesta, de la manera en que sea físicamente desarrollada e implementada, no requiere momentáneamente estructuras de datos complejas, ni de un esquema de bases de datos como ejemplo.
- **Diseño arquitectónico:** En el diseño arquitectónico se definen las relaciones entre los principales elementos estructurales del programa [11]. Cuando se habla de elementos estructurales, se hace referencia a entidades lógicas que componen la arquitectura de nuestro diseño. Entre todos

los diseños posibles, podemos seleccionar, diagramas de flujo de datos, modelos de entidad-relación, diagramas de clases, casos de usos entre otros esquemas gráficos. Viendo todas estas posibilidades, podemos encarar a diseñar nuestra estructura con el modelo que más se ajuste a nuestras necesidades y sea lo más útil posible para las etapas posteriores. Por tal razón, es necesario que el diseño sea lo más representativo posible al momento de codificación, que utilice un paradigma orientado a objetos, ya que queremos representar objetos como vehículos, posición geográfica, joystick, etc; y que además tengan cada uno sus correspondientes atributos. Estos motivos justifican la elección de un diseño orientado a objetos, utilizando lo que anteriormente llamamos *diagramas de clases*. Estos diagramas son de suma utilidad ya que muestran de manera fácil como será la estructura de nuestro código y sus correspondientes relaciones entre cada uno, con el propósito de facilitar la tarea en las etapas posteriores al mismo.

- **Diseño de interfaz:** El diseño de interfaz describe cómo se comunica el software consigo mismo, con los sistemas que operan con él, y con los operadores que lo emplean[11]. Dentro del aspecto de comunicación de software consigo mismo y con otros sistemas es contemplado en el ítem anterior con el tipo de diseño elegido. Aquí lo que nos incumbe es la interacción con el operador del software. De esta manera, se selecciona una herramienta que nos permita realizar nuestra interfaz gráfica del usuario, como por ejemplo, botones, *labels*, gráficos, *checkboxes*, etc. ayudando al usuario a realizar sus respectivas tareas sin entrar en tanto detalle en comandos específicos que se debe memorizar con el fin de ser lo más amigable posible.
- **Diseño procedimental:** El diseño procedural transforma elementos estructurales de la arquitectura del programa en una descripción procedural de los componentes del software [11]. Para no ser extensos en lo que es el desarrollo de este proyecto y teniendo en mente que el tamaño del mismo no corresponde a uno de grandes dimensiones y considerando que únicamente existe un único programador para la etapa de desarrollo, se descarta este tipo diseño.

Dentro de lo que es el conjunto de diseños obtenidos en esta etapa es importante saber en qué orden realizar cada una. Ya que cada diseño está relacionado directamente con los demás, y el desarrollo de uno terminará condicionando el siguiente. Es por esto que se analiza la opción de comenzar primero con el diseño de arquitectura.

En el diseño orientado a objetos o más específicamente, en la confección del diagrama de clases se detallan las propiamente dichas **Clases** mediante bloques gráficos o cajas. Estas bloques contienen todos los *atributos* de la clase, como por ejemplo, la clase vehículo puede contener: cantidad de hélices, altura de vuelo, velocidad, posición, etc. Además, según este diseño, contiene todas las acciones que puede realizar a través de métodos; si continuamos con el ejemplo de vehículo aéreo pueden ser: volar, aterrizar, despegar, etc. Esto nos brinda como resultado final una estructura al momento de implementar el código, lo que facilita la tarea del programador. Además, y un punto importante a tener en cuenta es que muestra como se comunicará cada clase con las demás, esta característica ayuda a descubrir que métodos extras son necesarios implementar

para una correcta cooperación en conjunto. Sin embargo, existe una desventaja (desde el punto de vista de la experiencia del usuario), es que no toma en cuenta las funcionalidades que puede desear el mismo; poniendo un poco en contexto, si presentamos al usuario el diagrama de clases confeccionado es muy poco probable que pueda aportar mejoras en referencia entre la interacción software/usuario ya que este tipo de diagrama esta orientado más que nada a ser de utilidad para el programador del proyecto.

En cambio, si primero realizamos el diseño de la interfaz gráfica del usuario, nos determinará que es necesario entre otros aspectos que no han sido incluidos en el diseño arquitectónico, ya que no se han tomado como partes importantes en el desarrollo, la interacción del usuario. Como por ejemplo, funciones de validación de datos, ventanas de advertencias, gráficos, como es el *Head Up Display* (HUD) (Fig.4.1).



Figura 4.1: Head Up Display

Como podemos ver y según las restricciones presentes, es conveniente realizar primero un diseño de interfaz, ya que el mismo nos proporcionará más detalles de implementación.

4.2.1. Diseño de interfaz

En primera instancia se inicia con la GUI; por definición es el proceso que define como será la interacción entre el software y el usuario final. Para esto, se utiliza la herramienta Qt Designer, que proporciona mediante un panel de **widgets** todos los elementos necesarios para el diseño del mismo.

Para iniciar este proceso, partimos de los *mockups* desarrollados en la sección 2.2, basándonos pantalla por pantalla en la confección de cada uno. Cabe mencionar que las pantallas presentes del diseño han sido obtenidas luego de un arduo proceso de modificaciones y actualizaciones debido a las necesidades e inconvenientes que se iban presentando en el transcurso de la fase de codificación. Las imágenes de la GUI se pueden ver en el anexo D

4.2.1.1. Modificaciones generales

- **Inserción del HUD en lugar de un mapa:** Se ha considerado diseñar el HUD, en lugar de un mapa. Ya que el mismo no se considera de suma importancia para la navegación en un marco de referencia relativo. La

implementación del mapa, se ha documentado como un requisito para las versiones futuras de la plataforma.

- **Reemplazo de ubicación de iconos de estados:** Los iconos posicionados en la barra superior del software se han reubicados dentro de lo que es el HUD, ya que los mismos sobre cargaban la aplicación con una constante actualización, debido a que el HUD es el encargado de mostrar la información en tiempo real.
- **Sustracción de pestaña sensores:** Según el requisito **Implementación de calibración de sensores** no se considera para esta versión la posibilidad de calibrar los sensores del vehículo. Sí se incluyen los parámetros configurables del vehículo para ser modificados.

4.2.2. Diseño arquitectónico

Luego de finalizar con el diseño de interfaz y en base al diagrama de clases realizado en las primeras etapas del proyecto, se inicia el modelado más detallado del diagrama de clases del proyecto. Para esto, se utiliza la herramienta ArgoUML¹, obteniendo como resultado el diagrama de clases adjuntado en el apéndice F.

4.3. Codificación y pruebas

En esta etapa consiste en traducir el diseño a una forma legible por la máquina. Por tanto, iniciaremos esta tarea según los diseños de diagrama de clases generados y siempre teniendo en mente los requerimientos estipulados por los *stakeholders*.

Según el diagrama de clases adjuntado en el apéndice F tenemos varias clases que se encargarán de un grupo de funcionalidades en específico y a su vez cada una brinda funcionalidades a sus clases vecinas, para entender un poco el funcionamiento del software comenzaremos explicando cada una de ellas.

4.3.1. Clase Vehículo

La clase Vehículo (Fig.4.2) es la responsable de representar en su mayor medida el objeto real, en nuestro caso el cuadricóptero. Se le han asignado las siguientes funcionalidades en base a:

- **Funciones de vuelo:** Según las restricciones establecidas en el ERS que se han estipulado en primera medida, ya sea por falta de conocimiento de bibliotecas y/o complejidad de los mismos, únicamente las siguientes funcionalidades de vuelo **Ascenso, Descenso y Hovering**; en cambio, gracias a las bibliotecas utilizadas se han codificado más funcionalidades correspondientes a las maniobras que puede realizar el vehículo. Dentro de este conjunto se desarrollaron las siguientes funciones (utilizando el protocolo MAVLink *Micro Air Vehicle Link* y la biblioteca Dronekit):

¹Página web de ArgoUML <http://argouml.tigris.org/>

Vehículo
on : Boolean parametros : List<String> desconectar(): Void conectado(): Boolean obt_estado(): List<string> prepararVehiculo(b : Boolean): Boolean descargarMisiones(temp : Boolean): Commands borrarMisiones(): Void enviarMisiones(): Void iniciarMisiones(): Boolean obt_cantMisiones(): Int mis_irPunto(lat : Int,long : Int,alt : Int,relativo : Boolean): Void mis_suspenderse(segundos : Int,lat : Float,long : Float,alt : Float): Void mis_volverInicio(): Void mis_aterrizar(lat : Float,long : Float,alt : Float): Void mis_despegar(altura : Float): Void velocidad(x : Float,y : Float,z : Float,duracion : Int): Void despegar(altura : Int): Void yaw(grados : Float,sentido : Boolean,relativo : Boolean): Void setCallback2Param(atributo : String,func : Function): Void

Figura 4.2: Clase Vehículo

Cabe mencionar que estas funcionalidades han sido diseñadas con la posibilidad de realizar acciones de vuelo en un marco de referencia global, utilizando las coordenadas globales proporcionadas por el GNSS en base a la latitud, longitud y altura (Figura 4.3). Además, es posible establecer sobre un marco de referencia relativo, es decir, este marco de referencia toma como origen el punto inicial de partida del vehículo, por lo que las coordenadas que ingresemos tendrán como referencia el punto de despegue. Es importante recordar que el marco de referencia global, conlleva la implementación de un mapa y según el requerimiento R025 este es opcional, e insistiendo con lo mencionado, esta funcionalidad se implementará en futuras versiones.

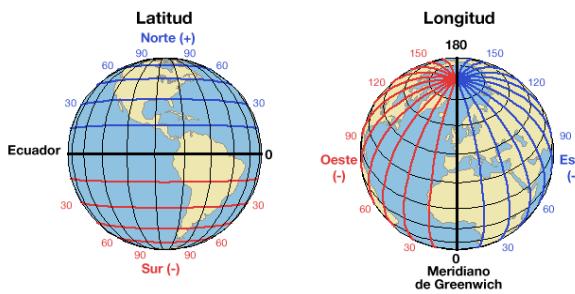


Figura 4.3: Marco de referencia global.

1. **Despegar:** Esta funcionalidad envía un comando al vehículo especificándole que debe elevarse gracias a sus motores a una altura en particular.

2. **Aterrizar:** Esta función ordena al vehículo que aterrice en un punto establecido, dependiendo del sistema de referencia, ya sea global o relativo.
3. **Suspenderse:** Según un punto en particular el vehículo estará inmóvil y suspendido en el aire por la cantidad de tiempo que se le asigne. Además, esta función entra en el requerimiento R017, donde se establece una función de salvataje encargada de ejecutarse en caso de algún inconveniente con el vehículo y/o conexión.
4. **Ir a un punto en específico:** Como bien su nombre lo especifica, esta orden le indica al vehículo que debe desplazarse en un punto en particular, dentro del marco de referencia especificado.
5. **Volver a inicio:** El vehículo almacena en primeras instancias su posición inicial, asignándola en una variable interna llamada *home*, una vez que esta orden ha sido enviada, el vehículo tratará de dirigirse a su punto de partida.
6. **Moverse:** Según el requerimiento R024, que establece distintos tipos de vuelo se han codificado las funciones de *velocidad* y *yaw* que según las ordenes enviadas de un joystick el vehículo modificará su dirección en tiempo real, ya que se han restringido estos comandos a que tengan una duración de ejecución mínima, dando así lugar a un nuevo comando y captar las nuevas indicaciones que han sido enviadas por el usuario.

- **Modo de vuelo:** Dentro del conjunto de las funcionalidades de vuelo se pueden observar que existen funciones con el prefijo "mis", estos a diferencia de los demás, son utilizados cuando el vehículo se encuentra en modo AUTO, es decir, estos comandos serán enviados al vehículo con el fin de que sean almacenados y ejecutados de manera secuencial misión por misión cuando se envíe la orden *ejecutar misiones*. Para cumplir de manera complementaria con el requisito R024, se han codificado funciones que gestionen las misiones pertinentes.
- **Conexión:** En base a los requerimientos R015, R016 se han incluido en la clase vehículo las funciones de *conectado*, *desconectar* y *el constructor de la clase*. Estas son encargadas de conectarse de manera inalámbrica a una red LAN (*Local Area Network*), gracias a su módulo Wifi instalado en la placa Raspberry Pi o de manera ad-hoc mediante módulos de comunicación inalámbrica conectados en un puerto serial.

Por último una función que asigna *Callbacks* a los atributos del vehículo, ya que estar consultando constantemente los cambios que se están produciendo dentro del vehículo conlleva un consumo extra de recursos, por lo que se decide implementar una función "setCallback2Param" que cada vez que el atributo correspondiente sufra algún tipo de cambio, este llame a otra función para informarle de dicha transición.

4.3.2. Clase Joystick

La clase Joystick (Fig. 4.4), es la encargada de gestionar dentro del los comandos conectados en el equipo, sus respectivas acciones que han sido ejecutadas

por el usuario.

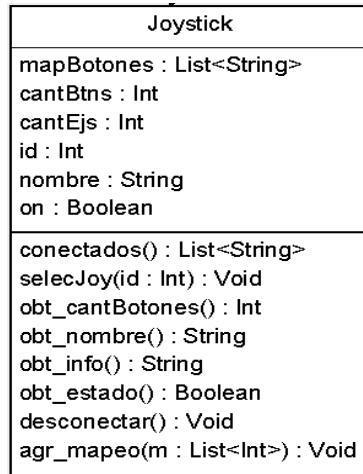


Figura 4.4: Clase Joystick

Con la ayuda de la biblioteca Pygame² podemos obtener información de los joysticks conectados como el nombre, cantidad de botones, número de ejes, si se ha presionado o saltado un botón, entre otras acciones, con el objetivo de poder interpretar, según un mapeo de funciones que se han pre-configureado las acciones que deseé realizar el usuario en modo manual sobre el vehículo. Cabe mencionar que dicha clase se ha codificado satisfaciendo los requerimiento R012 y R022.

4.3.3. Clase Gráfico Datos



Figura 4.5: Clase gráficos de datos o de atributos del vehículo.

²Página web de la herramienta www.pygame.org

La clase Gráfico de datos (Fig. 4.5) fue creada con el fin de cumplir con el requerimiento R002 que solicita una representación gráfica en tiempo real y evolutiva de la información capturada. Para realizar dicha tarea en primer momento se ha utilizado la biblioteca Vispy³ como la definición del requerimiento lo especifica; pero a medida que se iba avanzando en el desarrollo y prueba del mismo se ha encontrado el inconveniente de que dicha biblioteca no contiene la documentación actualizada, lo que genera contratiempos al momento de cumplir con el objetivo, por lo que se decide utilizar otra con una comunidad más activa, como lo es PyQtGraph⁴. Esta biblioteca cuenta con una gran comunidad activa y una documentación detallada de cada funcionalidad disponible, esto facilita mucho al ejecutor del proyecto a dirigir la atención en otros aspectos del proyecto. En la Fig. 4.6 se muestra un ejemplo de la biblioteca ilustrando en un periodo de tiempo una función senoidal con un agregado de ruido, para simular un comportamiento aleatorio.

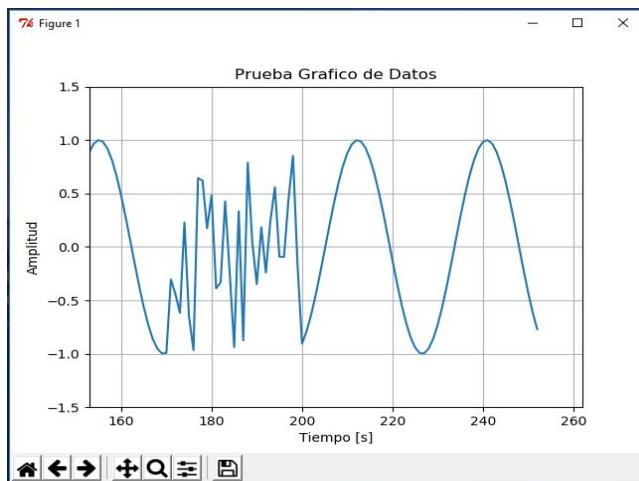


Figura 4.6: Captura de prueba animada en la inserción de datos, utilizando la clase gráfico datos.

Entre el conjunto de funcionalidades disponibles, se describen las más importantes:

- **Cupo máximo de líneas:** Con fines estéticos se ha implementado la opción de disponer de un número máximo de gráficos en pantalla, ya que el acumulamiento de gráficos sobrecargaría a la aplicación y además dejaría de apreciarse cada gráfica en la ilustración por motivos de espacio. En caso de asignar una nueva linea al gráfico correspondiente, el mismo eliminará el primer gráfico ingresada, utilizando una metodología tipo FIFO.
- **Identificación de líneas:** Para poder gestionar las líneas presentes en el gráfico es necesario asignarle a cada una un identificador, este identificador además servirá para las clases antecesoras para la inserción y eliminación de cada una.

³Página web de la herramienta vispy.org

⁴Página web de la herramienta www.pyqtgraph.org

- **Pausado de animación:** Es de esperar que el gráfico no este disponible tiempo completo, por lo que se decide incorporar la opción de pausado de la animación con el propósito de optimizar el uso de recursos del equipo y que la aplicación BEcopter utilice la menor cantidad de recursos.

4.3.4. Clase HUD

La clase HUD (Fig. 4.7), es la encargada de visualizar al piloto, en este caso el usuario, los datos más relevantes del estado del vehículo, con el objetivo de tener a simple vista el comportamiento del mismo en tiempo real. En la Fig. 4.7 se pueden apreciar las principales funcionalidades encargadas de representar dicha visualización.

HUD
<pre> altitud : Int bateria : Int gps : Int heading : Int info : Int nameInfo : String pitch : Int roll : Int senial : Int capa0 : Float capa1 : Float capa2 : Float setGPS(g : Int) : Void setSenial(s : Int) : Void setBateria(b : Int) : Void setHeading(h : Int) : Void setPitch(p : Int) : Void setRoll(r : Int) : Void setInfo(inf : String,i : Int) : Void initializeGL() : Void paintEvent(e : Event) : Void makeObject() : Void drawSenial(sizePix : Size) : Void drawBateria(sizePix : Size) : Void drawGPS(sizePix : Size) : Void drawCompas(sizePix : Size) : Void drawHorizonteArt() : Void drawLineasHor() : Void drawIndicador() : Void drawLineRef() : Void drawAnguloBanco() : Void animate() : Void </pre>

Figura 4.7: Clase Head Up Display

Por su parte, en el ámbito aeronáutico se utilizan ciertos instrumentos de navegación o símbolos que informan al piloto el estado de la aeronave, ya sea: velocidad, altitud, inclinación, etc; que para el desarrollo de esta clase es conveniente saber su significado. Por tal razón, explicaremos cada uno de estos instrumentos con su respectiva representación gráfica.

4.3.4.1. Instrumentos de navegación

Son los instrumentos esenciales para poder orientarse y seguir la ruta deseada por parte del piloto.

Horizonte artificial

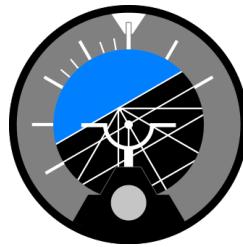


Figura 4.8: Horizonte artificial indicando un giro a la derecha en descenso.

El horizonte artificial muestra la orientación longitudinal de la aeronave (la relación del eje longitudinal del vehículo con respecto al plano del suelo), es decir: si está girado, inclinado, con la frente del vehículo levantado, bajado o todo a la vez. Sirve de gran ayuda en condiciones en que la visibilidad es poca o nula. El horizonte artificial tiene dos partes: el horizonte propiamente dicho, y el indicador de rumbo. El primero está compuesto por una región azul que representa el cielo, otra normalmente marrón que representa la superficie terrestre, una mira que representa la dirección en que apunta la frente de la aeronave, y varias marcas a su alrededor. Las marcas horizontales a ambos lados representan las alas, el plano de la aeronave, y su ángulo con el límite entre las regiones de cielo y superficie (el horizonte artificial), el cual con dichos planos se produce el ángulo de alabeo. Dispuestas verticalmente a intervalos regulares, hay marcas horizontales más pequeñas que representan ángulos concretos en el plano vertical, a intervalos de 5° , 10° , etc. Muestran el ángulo actual del eje longitudinal con el plano del suelo. Su principio mecánico está basado sobre un giroscopio.

Indicador de rumbos

El indicador de rumbo, o giroscopio direccional, proporciona al piloto la dirección de la aeronave en grados magnéticos.



Figura 4.9: Indicador de rumbos

Coordinador de Giro

En el coordinador de giro vemos en lugar del bastón una figura de un avión que nos indica el grado de inclinación de las alas con respecto al suelo.

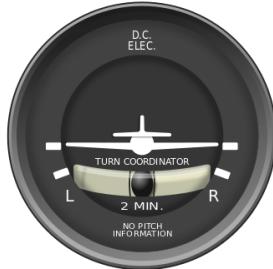


Figura 4.10: Coordinador de giro.

Una vez interiorizado en los instrumentos de vuelo se procede a integrarlos de manera simulada en un *widget*, con el fin de que cumpla las mismas funcionalidades. Para empezar necesitaremos de una biblioteca gráfica en el cual nos proporcione de funcionalidades para poder graficar estos instrumentos, para eso se selecciona *OpenGL*. Dicha biblioteca está equipada de funcionalidades para dibujar escenas tridimensionales complejas a partir de primitivas geométricas simples, tales como puntos, líneas y triángulos. Además, nos da a disposición la personalización de todos los parámetros que estén dentro de una escena como posición de la luz, cámara, tipo de materiales y luces. Pero más allá de todo este conjunto de herramientas de *OpenGL*, la tarea del diseño del HUD es realizar un dibujo en 2D, el cual se mostrarán un conjunto de datos y líneas básicas, por lo que se decide no utilizar directamente esta biblioteca para el diseño de la escena, sino que se busca de una API en que podamos graficar nuestros instrumentos de navegación de forma más sencilla.

De esta manera, luego de realizar una investigación acerca de las bibliotecas gráficas disponibles se encuentra que *PyQt* (utilizando en su interior *OpenGL*) proporciona varias funcionalidades en alto nivel que facilitan la tarea de graficar los elementos presentes en la escena. Mediante estas características, abordamos la tarea de graficar la escena de esta manera:

1. Dibujo del Horizonte Artificial El horizonte artificial como se puede observar en la Fig.4.8 está compuesto por dos rectángulos, uno representando el cielo y el segundo la tierra, de esta manera, con la funcionalidad de *QPainter* que nos proporciona dibujar un rectángulo proseguimos a dibujar dos rectángulos simulando el horizonte artificial; quedándonos como se puede ver en la Fig.4.11.

Hasta aquí, podemos observar que la Fig.4.11 satisface las necesidades de representar el horizonte artificial según nuestras especificaciones, pero al momento de proyectar al uso del mismo podemos encontrar los siguientes problemas:

- a) **Problema gráfico al momento del Roll:** Como se puede ver en la Fig.4.12 , cuando la escena sufre una rotación sobre su eje perpendicular, es decir, simulando un giro sobre el Roll o alabeo del vehículo, la imagen muestra imperfecciones en las puntas del recuadro.

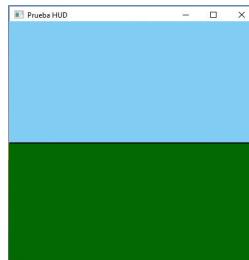


Figura 4.11: HUD v0.1

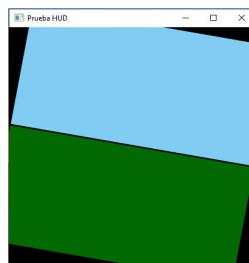


Figura 4.12: Inconveniente gráfico al momento de rotar

Este problema fácilmente se puede solucionar ampliando los tamaños de los rectángulos en ambas direcciones, considerando siempre el tamaño más largo entre el alto y ancho de la pantalla, ya que si no tenemos en cuenta este aspecto cuando tengamos una imagen sumamente apaisada y de poca altura, obtendríamos el mismo problema. Por tal motivo, se debe elegir un tamaño adecuado para la imagen; ahora la pregunta es ¿Qué tamaño debo asignarle a la imagen para que no se presenten dichos defectos?

Obtención de la longitud requerida

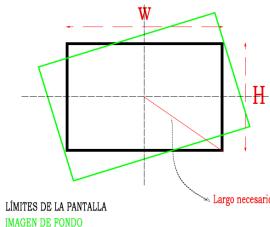


Figura 4.13: Problema gráfico en las esquinas

Como bien muestra la Fig.4.13, cuando la imagen de fondo sufre una rotación no llega a cubrir lo suficiente los límites de la pantalla, por tanto, se produce dicho problema. De tal manera se debe buscar la longitud máxima que debe tener la imagen para que cubra dichos límites, en la Fig. 4.13 se puede apreciar una linea roja que representa

el largo necesario a calcular. Este deberá ser la mínima longitud que deben tener el alto y ancho de la imagen, es decir :

$$L > Ancho_{Imagen} \wedge L > Alto_{Imagen}$$

Para calcular dicho valor, se propone implementar una circunferencia con centro en el origen de la pantalla y que tenga un radio por el cual cubra por completo los límites del mismo, como se puede observar en la Fig.4.14, de esta manera se contemplan las posibilidades de que la imagen de fondo cubra por completo el dominio de la pantalla en cualquier angulo de rotación que sufra.

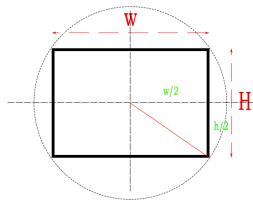


Figura 4.14: Circunferencia con radio que satisface la longitud requerida.

Por último, obtener esta longitud se traduce en un problema trigonométrico donde se debe obtener la hipotenusa de un triángulo rectángulo con base $w/2$ y alto $h/2$. Utilizando el teorema de pitágoras obtendremos que

$$R = \sqrt{\left(\frac{w}{2}\right)^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2} \quad (4.1a)$$

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{w^2 + h^2} \quad (4.1b)$$

Como podemos apreciar, la longitud mínima requerida se obtiene de la ecuación 4.1b. Pero como es de saber, este valor es la longitud total mínima que debe tener tanto el alto como el ancho de la imagen, por lo que se debe conocer cual es la diferencia al que debemos agregar al ancho, como también al alto de la imagen. Para esto, simplemente realizamos la diferencia para cada atributo y obtendremos el siguiente valor a agregar

$$Ancho_{aux} = R - \frac{w}{2} \quad (4.2a)$$

$$Ancho_{aux} = \frac{1}{2}(\sqrt{w^2 + h^2} - w) \quad (4.2b)$$

$$(4.2c)$$

$$Alto_{aux} = R - \frac{h}{2} \quad (4.2d)$$

$$Alto_{aux} = \frac{1}{2}(\sqrt{w^2 + h^2} - h) \quad (4.2e)$$

- b) **Problema al simular el Pitch:** Otro problema que surge, es al momento de simular el cabeceo o pitch, es que dentro de la escena cuando ocurre este comportamiento el script debe realizar una transformación de traslado, siendo proporcional a la inclinación ocurrida en el vehículo. Pero en cambio, el defecto que ocasiona es que únicamente se trasladarán los dos rectángulos ya dibujados, dejando al descubierto el *background*, como se puede ver en la Fig.4.15. Además, hay que tener en cuenta que la escena debe permitir un pitch de 0 a 360 grados, por lo que se tendrá que expandir la escena con el fin de simular un entorno virtual 360 en 3D.

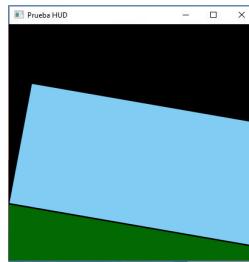


Figura 4.15: Error al momento de simular el Pitch

Para solucionar este inconveniente surgen las siguientes propuestas

- 1) **Mapear una textura al rededor de la cámara, mediante coordenadas esféricas:** En esta propuesta se debe generar una textura de ambiente exterior por el cual será mapeada de tal manera que simulará un ambiente 3D. La desventaja de esta propuesta es que la clase QPainter no proporciona funcionalidades para el desarrollo de dibujos en 3D, ni tampoco sus clases antecesoras para el mapeo de textura. Por lo cual, se debería codificar la textura manualmente y utilizando las funcionalidades primitivas de OpenGL.
- 2) **Inserción de rectángulos dependientes del Pitch:** Aquí lo que se pretende es que a medida que el pitch aumente o disminuya, es decir, que el vehículo cabecee para arriba o abajo, el script interprete estos datos para dibujar un nuevo rectángulo contrario al que se ve en pantalla (cielo/tierra), simulando un entorno infinito, como se puede ver en la Fig.4.16.
Siendo parecer la propuesta más efectiva, al momento de realizar las pruebas con el vehículo se descubre que presenta inconsistencias, ya que el movimiento del pitch no es continuo, por tanto, no se puede ir llevando un seguimiento del cuadro que se está viendo actualmente para la inserción del siguiente. Más allá de tratar de solucionar esta propuesta anexando al algoritmo estructuras extras para el seguimiento de los cuadros, el propósito del mismo no es acomplejar el problema, de esta manera, se recurre al desarrollo de la siguiente propuesta.
- 3) **Mapeo del Pitch sobre una imagen:** Finalmente, para solucionar el presente problema, y siempre reduciendo la complejidad

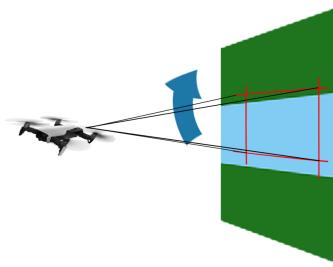
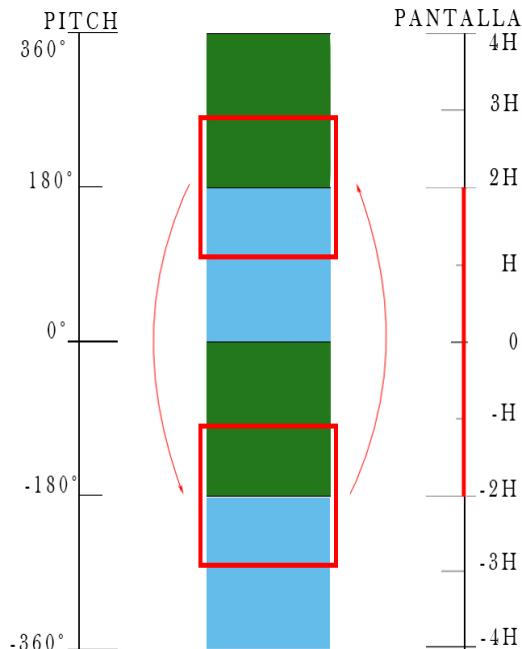


Figura 4.16: Insertando un rectángulo perteneciente al piso.

a una solución, se propone dibujar una imagen que contenga la escena del horizonte artificial en forma repetida, con el propósito de mapear el rango completo del pitch $[0^\circ, 360^\circ]$ dentro de una sola imagen, sin estar utilizando imágenes extras que cubran lo restante.



$$H = \text{Altura pantalla}$$

Figura 4.17: Mapeo del horizonte artificial.

Como se puede notar en la Fig.4.17 el mapeo del pitch corresponderá únicamente al dominio de la pantalla marcada en color rojo. Con esto hacemos referencia, que el mapeo no será de forma li-

neal ya que la entrada del pitch corresponde dentro del dominio de $[0^\circ, 360^\circ]$, por lo que se procede a convertirlo en el dominio $[-180^\circ, 180^\circ]$ para que sea más representativo a la dirección que apunta el vehículo y luego mapearlo al dominio del tamaño de la imagen. La razón por la cual se ha tomado el dominio de pantalla especificado, es porque cuando el pitch supere el límite de los 180° , inmediatamente el mapeador deberá llevar *la vista* al rango inferior, es decir, a los -180° , esto dará al usuario una sensación de continuidad de la imagen ya que al sobrepasar, ya sean los límites inferior o superior del dominio de la pantalla, las escenas serán prácticamente las mismas.

2. **Dibujo del ángulo de banco:** representa directamente al instrumento de coordinador de giro, en la Fig. 4.18 se puede observar dicha representación. Este instrumento indica al usuario la inclinación en el eje x o Roll de la misma forma en que se detalló en su definición, con la diferencia que este muestra el rango de inclinación $[-60^\circ, 60^\circ]$ y en caso de sobrepasar este límite se indica con una flecha en color rojo a modo de precaución.

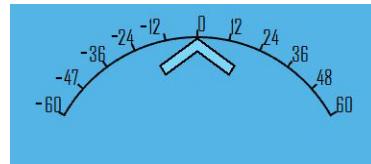


Figura 4.18: Ángulo de banco.

3. **Dibujo de líneas de referencia** Estas líneas de referencia tienen el fin de mostrar al usuario en la pantalla el pitch que está teniendo el vehículo en tiempo real, de la misma forma que el ángulo de banco, este muestra un rango limitado de $[-40, 40]$.
4. **Dibujo de atributos del vehículo** Por último, se ha tomado la decisión de ilustrar dentro del HUD ciertos atributos del vehículo y conexión, que se han considerado importante antes y durante del inicio del despegue. Dentro de estos atributos se han insertado los siguientes elementos como se puede ver en la Fig.4.19

- **Indicador de rumbos**
- **Icono de estado de GNSS, señal y batería**
- **Un atributo a elección del usuario** En este caso se ha insertado por defecto el pitch del vehículo, pero este espacio puede ser ocupado por cualquier atributo del vehículo.

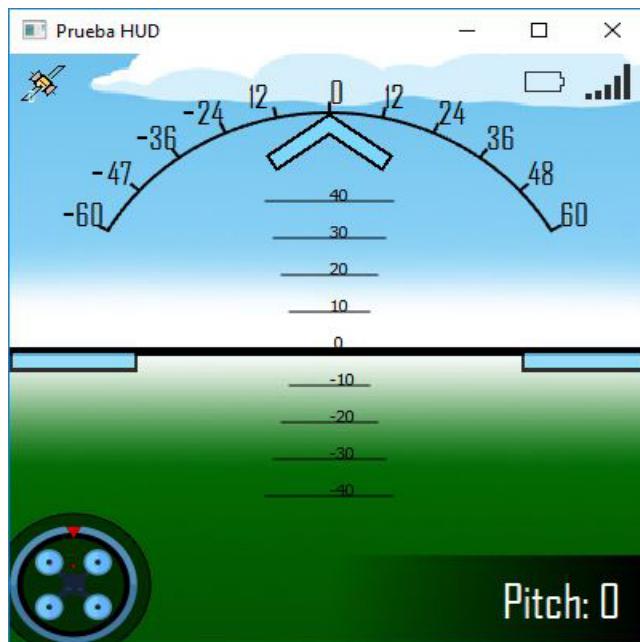


Figura 4.19: HUD final con sus correspondientes atributos e instrumentos de vuelo.

4.3.5. Clase Gestor Parámetro

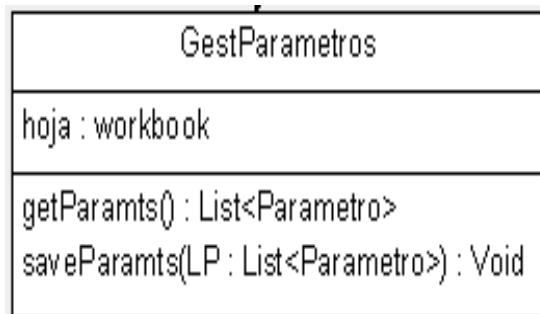


Figura 4.20: Clase gestor parámetro.

Dentro del vehículo además de encontrarse con sus atributos tales como: velocidad, posición, batería, etc. Existen parámetros, como bien su nombre lo dice configurables, donde es posible establecer o informarse de todo tipo de configuración del vehículo. Existe una gran variedad de estos, ya que es importante poder configurar cada aspecto de los elementos del vehículo. Dentro de este conjunto de parámetros podemos clasificarlos los siguientes grupos:

- **Armado**
- **Batería**

- **Motores**
- **Servo Output**
- **Telemetría**
- **IMU (*Múltiple Process Unit*)**
- **Compas**
- **Barometro**
- **GPS**
- **RC**
- **WayPoint**
- **Misiones**

Donde en cada grupo se encuentran reunidos un conjunto de parámetros individuales que configuran cierto aspecto de cada grupo. Por tal razón se decide crear una clase Gestión de Parámetros, de tal manera que sea el encargado de agrupar estos parámetros. Para la carga de información de cada parámetro se ha utilizado una planilla de cálculo para almacenar la información, esto es posible gracias a la biblioteca *openpyxl*⁵ que nos permite ir guardando cada grupo de parámetros en una hoja independiente dentro del documento.

4.3.6. Clase Parámetro

Cada parámetro tiene la particularidad dentro del software un conjunto de propiedades que ayudan al usuario a entender su significado y poder modificarlos. Para la creación de dicha clase se han creado las siguientes propiedades:

- **Permitido:** Este propiedad determina si el parámetro es de solo lectura o es modificable por el usuario.
- **Código:** Dentro del software se generan códigos a cada parámetro con el fin de poder enviarlos mediante comandos al vehículo.
- **Nombre:** Es una pequeña descripción del código, ya que los mismos están escritos de forma reducida.
- **Descripción:** Describe de manera extendida el significado de cada parámetro y en determinados casos con ejemplos para ayudar al usuario a configurarlos.
- **Rango:** Los valores máximos y mínimos que puede tomar el parámetro.
- **Incremento:** Establece los incrementos dentro de un dominio, el mismo es representado gráficamente por un *slider*.
- **Unidades:** Unidades correspondiente al parámetro.

⁵Página web de la biblioteca <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/>

Parametro
permiso : String
codigo : Int
nombre : String
descrip : String
rango : String
increment : Float
unidades : String
setPermiso(p : String) : Void
setCodigo(c : Int) : Void
setNombre(n : String) : Void
setDescrip(d : String) : Void
setRango(r : String) : Void
setIncrement(i : Float) : Void
setUnid(u : String) : Void
getPer() : String
getCod() : Int
getNomb() : String
getDescrip() : String
getRango() : String
getIncr() : Float
getUnid() : String

Figura 4.21: Clase parámetro

Como es de notar la clase parámetro no almacena su correspondiente valor, esto es debido a que los valores de cada parámetro son tomados del vehículo cuando se establece la primera conexión. Ya que estar manipulando valores cambiantes en dos lugares a la vez pueden producir accidentes al momento de sincronizarlos.

4.3.7. Clase GUI_becopter

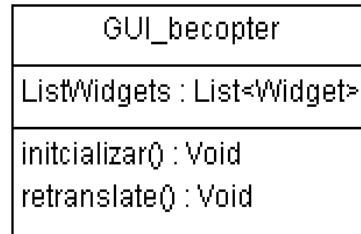


Figura 4.22: Clase Graphical User Interface de BEcopter

En lo que respecta al proyecto es la clase de mayor tamaño, ya que contiene absolutamente todos los elementos gráficos que se pueden ver en BEcopter. Estos están desarrollados en base a la creación de un componente padre, con su respectiva estética y comportamiento. Una vez definido este padre se procede a crear sus correspondientes hijos y una vez finalizados se los inserta en su antecesor. Estos elementos cuentan con una gran variedad de propiedades que pueden ser modificadas, y los mismos pueden ser administrados mediante la herramienta Qt Designer (Fig.4.23).

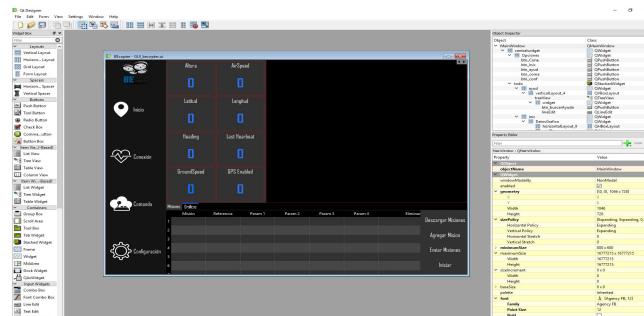


Figura 4.23: Aplicación QT designer

Como es de notar BEcopter comprende un gran número de componentes gráficos, lo que causa que la programación de cada elemento se vuelva engorrosa y consuma tiempo, es por eso que el mismo programa brinda una herramienta que traduce los archivos .ui generados por la aplicación a archivos .py, que es nuestro lenguaje seleccionado, con el fin de agregarlo directamente al proyecto. Cabe mencionar que dicha herramienta nos da la facilidad de modificar los aspectos estéticos de estos componentes mediante CSS, por lo tanto se ha tenido que estudiar dicha sintaxis[4] y utilizarla para el personalizado de los mismos.

4.3.8. Clase BEcopter

Por último tenemos la clase principal BEcopter, esta es la encargada de gestionar las demás clases presentes en este proyecto. Como podemos observar en el diagrama de clases de la Fig.4.24 la misma está relacionada con la gran mayoría por lo que conlleva varias tareas; si detallamos un poco su interacción, esta se encarga de:



Figura 4.24. Clase principal BEcopter

- **Gestionar la interfaz gráfica:** La interfaz proporcionada por la clase GUI_becopter únicamente representa la GUI, por tanto, este no contiene ningún tipo de lógica ni tampoco aspectos dinámicos que son de suma importancia para este proyecto. Por lo que es tarea de la clase principal brindarle de dichos comportamientos para poder interactuar con las acciones del usuario; dentro de sus amplias tareas tales como inicialización de estilos, gestión de pestañas, validación de datos, etc. Tenemos las más destacadas que son :
 1. **Ocultamiento de opciones:** A modo de seguridad se ha establecido por defecto que al iniciar la aplicación ciertas opciones estén deshabilitadas, como son las pestañas de (Inicio y Configuración) ya que estos dependen de que el vehículo este conectado y en caso contrario, si proporcionamos a que se puedan modificar misiones o parámetros del mismo pueden ocasionar errores.
 2. **Sincronización de datos:** Poder observar los atributos del vehículo en tiempo real es de suma importancia, por lo que se definen temporizadores que sincronizan cada cierto periodo de tiempo los valores ubicados en la pestaña inicio que contiene un conjunto de botones que muestran datos sobre el vehículo y en la pestaña conexión que presenta información de su respectiva conexión y aspectos generales del vehículo.
- **Gestionar los Joysticks:** Como el fin de BEcopter es poder manejar un único vehículo, se ha restringido a la utilización de un solo joystick, pero es importante tener en cuenta que puede haber más de un dispositivo

tipo joystick conectado al equipo, por lo que se provee de opciones de selección de comandos para contemplar ese aspecto. Además de gestionar la selección del comando a utilizar y realizar el correspondiente mapeo en relación de acción-botón que ha seleccionado el usuario, este es encargado de captar todos los eventos generados por el joystick, con el propósito de enviarlos al vehículo para su posterior interpretación.

- **Gestionar los gráficos:** Dentro de lo que es el proyecto BEcopter están incluido un par de gráficos que ayudan al usuario a tener presente información útil del vehículo y sus sensores. Estos gráficos son :

Gráfico HUD: Más allá de su propio funcionamiento interno de la clase HUD, la clase BEcopter es la responsable de poder inicializar la conexión entre el vehículo y dicha clase. Por eso es importante que este proporcione los datos necesarios a mostrar cada vez que el atributo sufra un cambio, por tal motivo, es que se generan *callbacks* que administran dichos eventos.

Gráfico de atributos: La clase vehículo nos brinda un gran conjunto de atributos que informan sobre el estado del vehículo, conexión, como también provenientes de los sensores, de tal manera que la clase BEcopter se debe encargar de mostrar dichos atributos en una lista con la opción poder agregarlos a la clase gráfico de datos para su procedente graficación. Además, BEcopter debe proporcionar en dicha lista la opción agregar/eliminar atributos tanto en el gráfico de datos como también en la botonera.

- **Gestionar el vehículo:** La clase vehículo corresponde al corazón del proyecto, ya que este representa de manera directa el UAVs que estamos por manipular, por tal razón es importante tener actualizado todos los valores que proporciona dicha clase hacia el usuario; además hay que tener en cuenta que el usuario deseará enviarle comandos al mismo como, despegar, moverse, aterrizar, desplazarse, etc. Ya sea en modo manual mediante el joystick ya seleccionado o en forma de misiones, es decir, en modo automático. De esta manera la clase BEcopter para contemplar estos aspectos tendrá que realizar las siguientes tareas:

Sincronización: La clase BEcopter tiene la responsabilidad de informarle a las clases restantes cuando los atributos que están siendo utilizado sufren algún tipo de cambio, de esta manera, se han creado un conjunto de conexiones mediante *callbacks* y *timers* que envían de manera sincrona y asíncrona la información requerido a cada entidad.

Misiones: Las misiones son un aspecto importante en BEcopter, ya que proporcionan al usuario la posibilidad de crear un conjunto de comandos parametrizables y que pueden ser enviados al vehículo para que sean ejecutadas. En lo que concierne a estas opciones tenemos las siguientes utilidades:

Descargar misiones: Esta opción permite descargar y mostrar en pantalla las misiones que ya tiene almacenado el vehículo. De manera complementaria, es una herramienta útil para comprobar que las misiones que han sido enviadas de manera correcta.

Agregar misión: Agrega una nueva linea en blanco para el ingreso de siguiente misión.

Enviar misión: Esta opción tiene la particularidad de únicamente cargar las misiones en el vehículo sin la intención de ejecutarlas, ya que puede suceder de enviar misiones incorrectas, por tal motivo BEcopter se encarga de validar dichas misiones y en caso de encontrar un error se le informará al usuario.

Iniciar: Por último y una vez validada las misiones, BEcopter le envía la confirmación al vehículo para que inicie las misiones enviadas.

Estado de conexión: Cumpliendo con el requerimiento R016, que establece la codificación de un script de control del estado de conexión, la clase BEcopter se encarga de este aspecto, consultando periódicamente dicho estado y en caso de perder la conexión (siempre y cuando no se encuentre en vuelo) se bloquearán las opciones pertinentes al vehículo, como si estuviera iniciando la aplicación de nuevo. En caso de existir una perturbación en las variables tales como perdida de conexión, señal débil del GPS y/o poca batería, el sistema informará dicho suceso al usuario para que realice las acciones pertinentes.

- **Logging:** Para satisfacer los requerimientos R010 y R011 del documento de especificación de requerimientos la clase BEcopter como también la clase vehículo utilizan la biblioteca **logging** de Python para la generación de un registro de eventos ya sea de la plataforma o del vehículo, que se van mostrando en la pestaña de conexión de BEcopter.

Capítulo 5

Prueba integral de la plataforma y del cuadricóptero

Divide et Impera.

-Julio Cesar-

RESUMEN: En el presente capítulo se describirá todo el proceso realizado de la fase denominada **Prueba integral de la plataforma y del cuadricóptero** que forma parte del actual proyecto. En esta fase se contempla la tarea de *Evaluuar el funcionamiento del cuadricóptero y de la plataforma* con el fin de satisfacer los requerimientos estipulados y de manera complementaria que el sistema se comporte de forma satisfactoria.

5.1. Introducción

Al momento de encargar el desarrollo de cualquier tipo de proyecto y estemos avanzando en sus respectivas fases es necesario comprobar que el funcionamiento de lo que se va desarrollando esté cumpliendo con los resultados esperados, ya que de no ser así, la continuidad del mismo se verá afectada. Por tal motivo, en las siguientes secciones se detallarán los distintos tipos de pruebas que han sido ejecutadas luego de codificar alguna funcionalidad del mismo. Cabe mencionar que por la naturaleza del proyecto que estamos desarrollando es importante que el mismo se comporte exactamente a los requerimientos estipulados y que además, el software proporcione mecanismos de seguridad en caso de que ocurriese alguna inconsistencia, ya que podría provocar accidentes que dañen el equipo como también a las personas que se encuentren en la intersección de su trayectoria. Dicho esto, introduciremos el concepto de **Aseguramiento de la calidad** o del inglés *Quality Assurance (QA)* en las próximas secciones.

5.2. Conceptos preliminares

El **plan de QA** atraviesa el proceso de desarrollo desde el nacimiento de la idea hasta la implementación del software. En las primeras etapas, verifica que los objetivos estén bien planteados y los requerimientos sean precisos. En las fases de diseño y codificación, vigila el cumplimiento de los estándares fijados. Finalmente, revisa que el software en funcionamiento respete los requerimientos pedidos y que la entrega al cliente se haga en las condiciones adecuadas.

El responsable del QA se tendrá que basar en conjunto de pruebas de calidad, entre las que se incluyen:

- **Testeo unitario:** se prueba que cada módulo funcione bien por separado.
- **Prueba de estrés :** se prueba la resistencia de la aplicación enviándole una cantidad de peticiones excesiva, buscando que colapse.
- **Test de integración:** los módulos probados independientemente durante el testeo unitario se acoplan y se prueban en conjunto.
- **Test funcional:** se prueba que el software ofrezca las funciones solicitadas.
- **Test de aceptación:** el usuario verifica que el producto satisfaga sus expectativas. En este caso, como se trata de una necesidad que inicialmente ha surgido de integrantes del *sinc(i)* el software será validado por dichos responsables y una vez que el producto esté finalizado, y con el objetivo de que éste cumpla de manera eficaz con todas sus funcionalidades, el mismo será publicado en una plataforma de desarrollo colaborativo con el fin de que éste realice un *feedback* de las inconsistencias y/o errores del mismo.

Las pruebas de QA no sólo son beneficiosas para el usuario final que recibirá un producto de calidad, sino también para el ejecutor del proyecto, ya que al establecer un control permanente sobre el proceso evitará en buena medida los costos de tener que corregir errores en etapas avanzadas del proyecto.

5.3. Evaluación funcional del Cuadricóptero y la Plataforma

5.3.1. Verificación y validación de la plataforma

Para el desarrollo del proyecto, se ha utilizado un paradigma de programación *orientado a objetos*. Este paradigma nos ha facilitado la división lógica de las funcionalidades y por lo tanto, nos ha sido de gran facilidad probar cada componente lógico una vez codificado. Para validar y verificar que las funcionalidades cumplan con las especificaciones del cliente; se realiza el siguiente **plan de QA**.

En primera instancia se valida con el documento de requerimientos y con el diagrama de clases generado en etapas anteriores. Se examina de manera general que cumpla con las necesidades de los usuarios y, en caso de encontrar inconsistencias que no cumplen completamente dicha necesidad se procede a modificar el diagrama de clases. Una vez codificadas, se procede a realizar los siguientes niveles de prueba:

- **[Descripción] Nivel 0** Por funcionalidad se implementan las pruebas unitarias, realizando el siguiente procedimiento:

Se ingresan datos reales o verdaderos en las entradas de las funciones, y luego de ejecutarla, observamos si obtuvimos los resultados deseados. A partir de aquí podemos obtener 2 casos, que la función se comporte según lo esperado o que la misma contenga errores. En caso de contenerlos se procede a solucionarlo siempre y cuando al momento de obtener dicha solución la misma no conlleve demasiado tiempo y no sea dependiente de otras tareas; se registra dicho inconveniente con su respectiva fecha de incidencia y sus posibles riesgos para ser resuelta en etapas posteriores. Por otro lado y una vez obtenido los resultados con los datos verdaderos, se procede a cambiar el tipo de entrada por datos erróneos o posibles alternativas, como por ejemplo, datos numéricos en vez de texto, caracteres especiales, datos fuera de rango, etc. con el fin de “proporcionar robustez a nuestro código” (prueba de estrés) y adaptar el código para mantener el control en caso de ocurrir algún tipo de inconsistencia. Cabe mencionar, que sólo se suspenden temporalmente funcionalidades, si se consideran de tipo *no funcionales* o no resuelve completamente un requerimiento del usuario. En la Fig.5.1 se esquematiza con un diagrama de flujo este procedimiento.

Nivel 0

Pruebas unitarias y de stress.

[Por funciones]

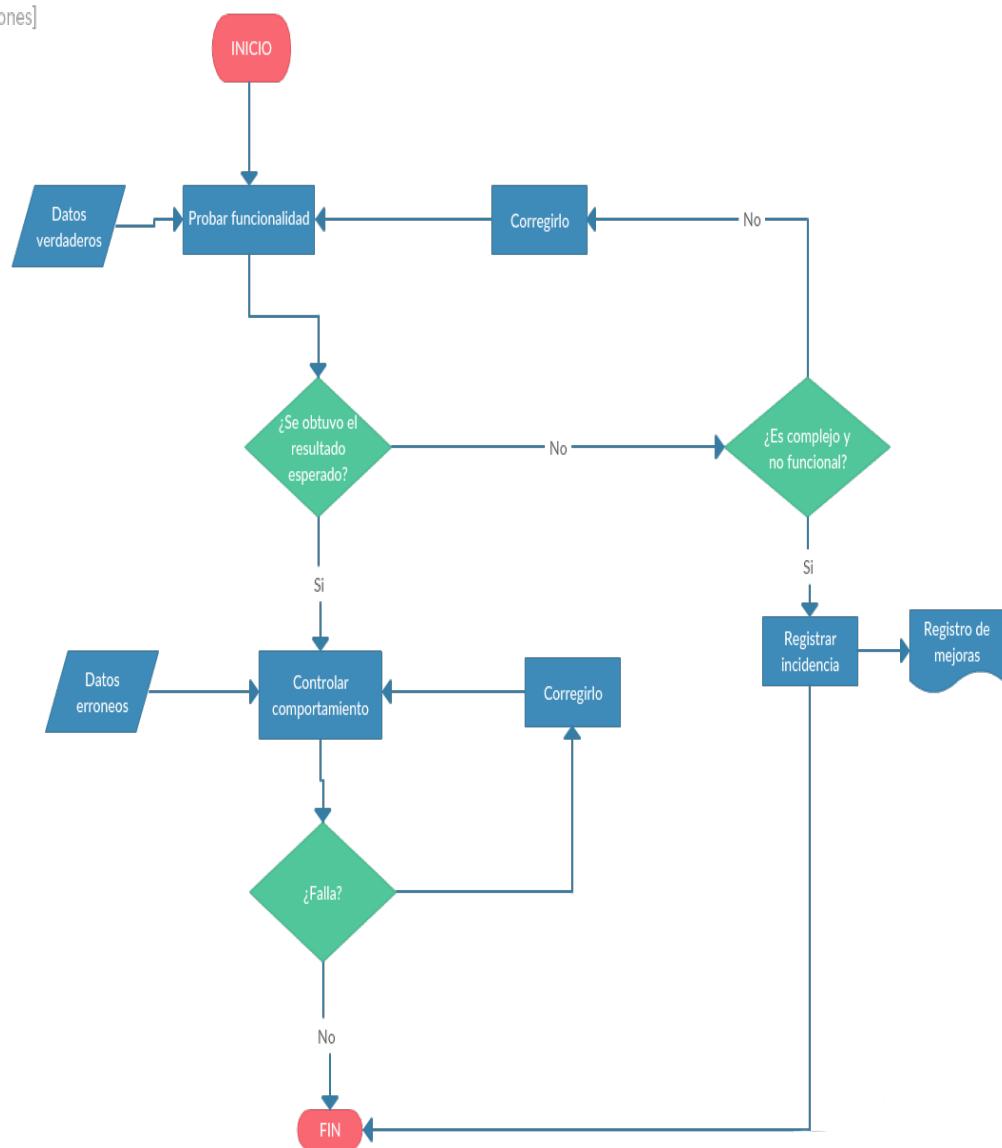


Figura 5.1: Plan de QA - Nivel 0

- **[Descripción] Nivel 1** En este nivel lo que se busca es realizar los test de integración y funcionales (una vez ya finalizados los test del nivel 0), para esto se procede de la siguiente manera:

En el mismo módulo, se instancia cada clase perteneciente al mismo y se prueban las funcionalidades que dependen de otras clases (ya que las funcionalidades que no dependen de otras ya han sido probadas) y se toma

el mismo procedimiento por funcionalidad que en el Nivel 0.

Nivel 1

Pruebas funcionales y de integración
[Por módulo]

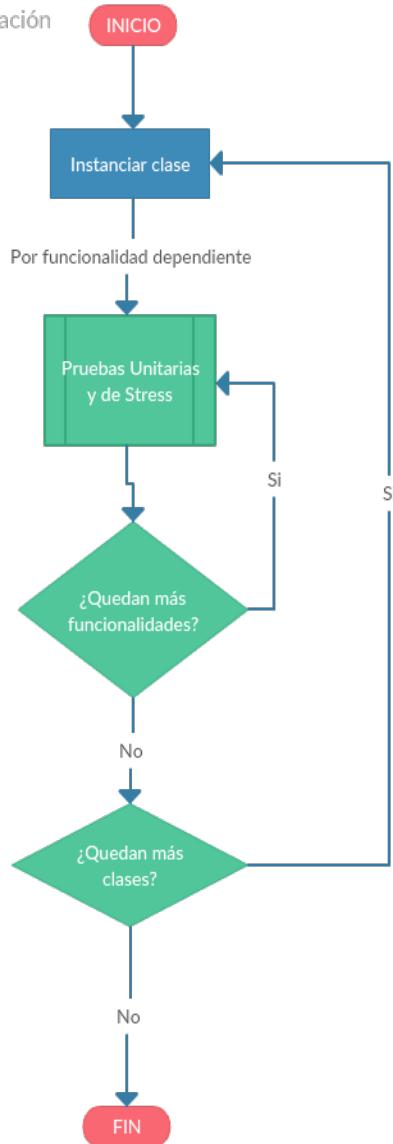


Figura 5.2: Plan de QA - Nivel 1

- [Descripción] **Nivel 2** Este nivel es el último que se realiza, tiene como principal objetivo cumplir con los test de aceptación (considerando temporalmente que el programador es el usuario final):

Para realizar esto se tiene como prioridad que la interacción entre el vehículo y el software se comporte correctamente, con esto hacemos referencia

a que se muestren los resultados correspondientes, como señal de GNSS, batería desenchufada, vehículo desconectado de la red, que el recibimiento de los comandos se puedan comprobar con las revoluciones de los motores, etc. En caso de encontrar algún tipo de falla o desperfecto, nos dirigimos directamente hasta el nivel 0 y desde ahí se procede a repetir el procedimiento.

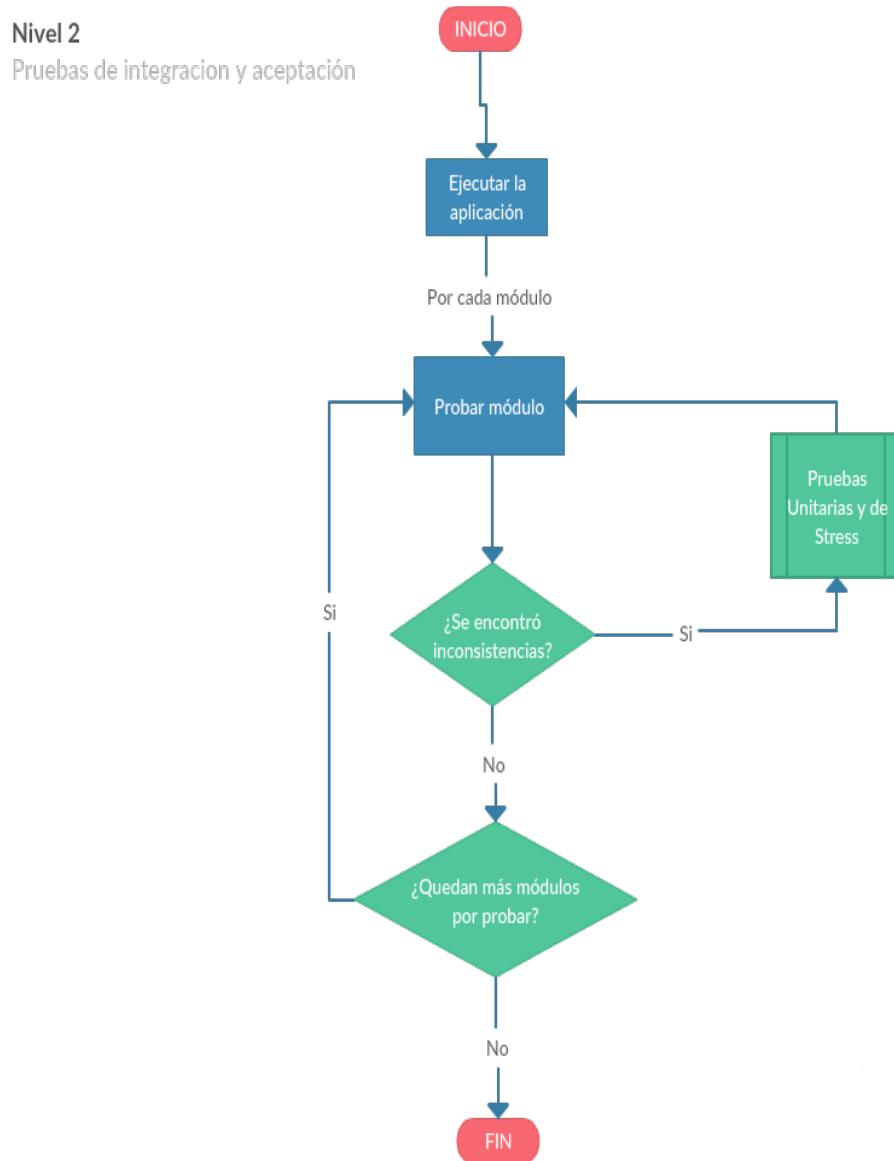


Figura 5.3: Plan de QA - Nivel 2



Figura 5.4: Multímetro digital

5.3.2. Verificación y validación del cuadricóptero

Más allá que el concepto del plan de QA se aplique comúnmente en el desarrollo de software, es posible crear un punto de intersección y adoptar la misma estructura lógica en donde se realizan los distintos tipos de pruebas que en el plan creado; pero en este caso sobre elementos electrónicos. Con esto hacemos referencia, que podemos ver a cada componente electrónico como un módulo, por el cual nosotros como QA lo conceptualizamos como una **caja negra**, en donde ingresan datos de entrada y deberíamos obtener determinados datos de salida. Estos datos pueden ser obtenidos por sus correspondientes fabricantes que proporcionan en su gran mayoría la hoja de datos de cada componente. Por lo tanto en lo que concierne a esta sección se explicará el procedimiento utilizado para probar el correcto funcionamientos de cada componente antes de ponerlos en marcha de manera conjunta.

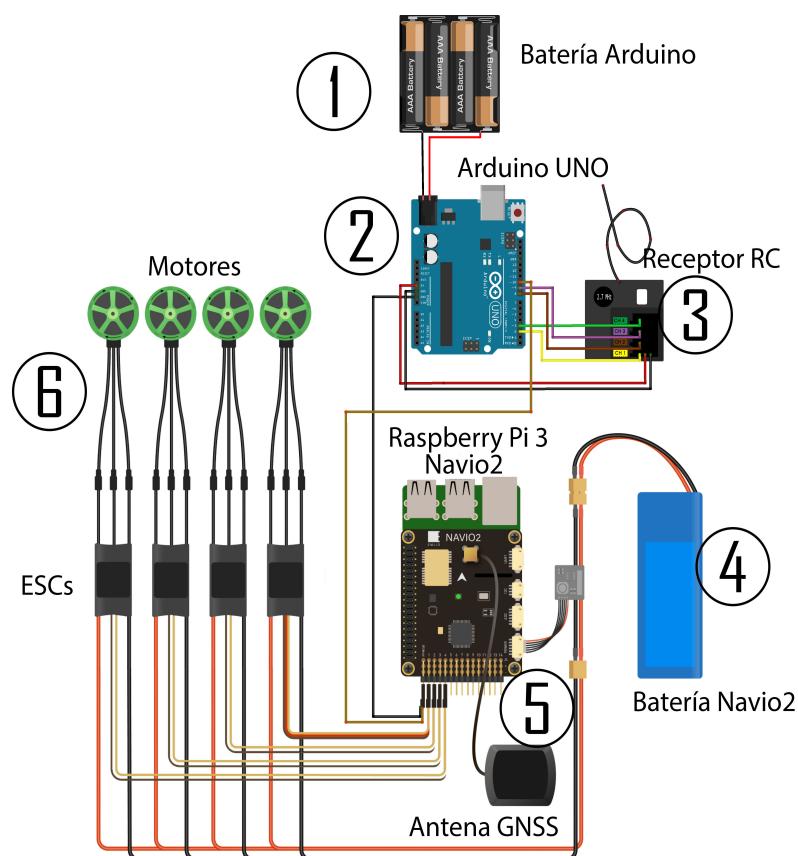
5.3.2.1. Conectores

Los conectores o cables, son los encargados de comunicar o transportar las señales a cada entrada/salida entre componentes electrónicos, por tal razón es de suma importancia evaluar su estado, ya que cumplen un rol importante al transportar la información. Para determinar el estado de cada conector se utilizó el tester en modo “comprobación de continuidad”, como se puede ver en la Fig.5.4, el cual conectando las puntas del cable con las puntas del tester, nos indicará con un sonido cuando el cable se encuentre en buenas condiciones, en caso contrario se intenta repararlo o desecharlo en el peor de los casos.

5.3.2.2. Fuentes de alimentación

En lo que respecta a las pruebas, hay que hacer foco en que es necesario disponer de un uso considerable de los componentes, ya que probar cada funcionalidad conlleva realizar pruebas continuas y por lo tanto al ser componentes electrónicos el suministro de energía en esta etapa deben ser , “ilimitado”. Es

por tal razón que la portabilidad que disponemos al tener baterías es innecesaria (más allá que serán útiles al momento de realizar vuelos a distancia), por lo tanto estas baterías son reemplazadas por fuentes transformadoras de energía, las cuales dependen del suministro de energía de tipo alterna proveniente de las instalaciones del domicilio del ejecutante, y de esta manera obtendremos independencia en en tiempo de uso. En la Fig.5.5 los componentes etiquetados con los números 1 y 4 corresponden a las baterías que deben tener las siguientes especificaciones según los dispositivos electrónicos que alimentan:



fritzing

Figura 5.5: Esquema de conexiones eléctricas del cuadricóptero

- **Batería 1:** La misma provee de energía a la placa Arduino UNO. Por lo tanto, según las especificaciones de Arduino debe recibir los siguientes suministros¹ ilustrados en la tabla 5.1:

Para reemplazar esta batería se ha utilizado una fuente transformador de 7V y 800MA (*miliAmperes*), como se puede observar en la Fig.5.6

¹Especificaciones de Arduino UNO <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Especificaciones Arduino UNO	
Voltaje operativo	5 [V]
Entrada de voltaje (recomendado)	7 - 12 [V]
Entrada de voltaje (límites)	4 - 20 [V]

Tabla 5.1: Suministro energía Arduino UNO



Figura 5.6: Fuente de alimentación para Arduino UNO 7 [V] - 800[mA]

- Batería 4:** La segunda batería como se puede ver en la Fig.5.5 provee de energía a los 4 motores y además alimenta de manera paralela a la placa Navio2/Raspberry Pi. Y por el otro lado tenemos los motores HobbyKing² que reciben los suministros mostrados en la Tabla 5.2

Especificaciones motor	
Voltaje de entrada	7.4 - 14.8 [V]
Baterías	2-4 célula Lipo / 5-12 celdas de Ni-XX

Tabla 5.2: Suministro energía de motores

Para reemplazar la alimentación proveniente de dicha batería se ha adquirido una fuente de alimentación como se puede observar en la Fig.5.7, la cual será responsable de alimentar a los 4 motores y como se explicará más adelante al Radio Control.

Por último debemos alimentar a nuestra Raspberry Pi / Navio³ que recibe los valores mostrados en la Tabla 5.3

En este caso para alimentar a las placas se nos ha suministrado un transformador incluido en la compra de nuestra Raspberry Pi 3 con las siguientes especificaciones: 5V y 2500mA, como se puede observar en la Fig.5.8.

Para comprobar que los respectivos valores de salida de cada fuente sean correctos y no provengan con algún tipo de falla técnica, se procede a medir los voltajes correspondientes con un tester, dándonos como resultado valores dentro del rango de especificaciones de fábrica.

²Página web del fabricante hobbyking.com/es_es/hobbyking-30a-blueseries-brushless-speed-controller.html

³<https://emlid.com/navio/>

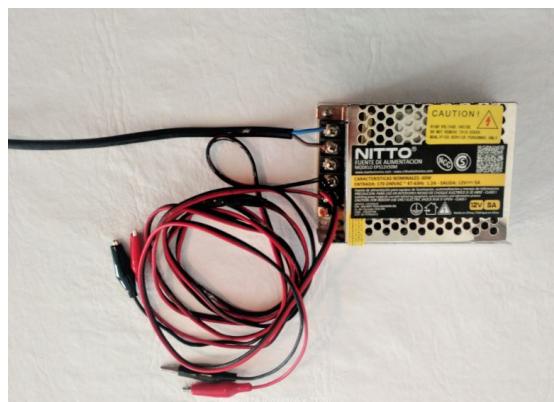


Figura 5.7: Fuente de alimentación Nitto de 12v - 5A!

Especificaciones Navio2	
Entrada de voltaje	4.75 - 5.25 [V]
Consumo promedio	150 [mA]

Tabla 5.3: Suministro energía de Navio2



Figura 5.8: Fuente de alimentación para la Navio2 con 5V y 2500mA

5.3.2.3. Radio Control

La comprobación del radio control en primera instancia se reemplazan las 8 baterías de 1.5v, con lo cual tenemos una cantidad suministrada de 12V necesarios para alimentarlo, siendo justamente el mismo voltaje entregado por la fuente de la Fig.5.7. Luego de conectar la fuente se procede a controlar que las señales enviadas por los movimientos del joystick de control lleguen de manera correcta al receptor de señal. Para realizar dicho procedimiento se debería medir mediante un osciloscopio y ver de manera precisa la forma de la señal. Pero al no contar con dicho instrumento se analizan los pines con el tester midiendo el voltaje, y se observa que al producir movimientos en los joysticks cada pin en promedio muestra un voltaje cercano a los 5 Volts. Exceptuando el primer pin (el que corresponde al Eje x del primer joystick) donde no se observan valores de voltaje significativos. De esta manera, se tendrá en cuenta dicha falencia para

las próximas pruebas.

5.3.2.4. Motores

En la prueba de motores se tuvo que codificar un script 5.3.2.4 para que sea ejecutado sobre la placa Arduino. Una vez codificado dicho script se procedió a realizar sus respectivas conexiones como se puede observar en la Fig.5.9.

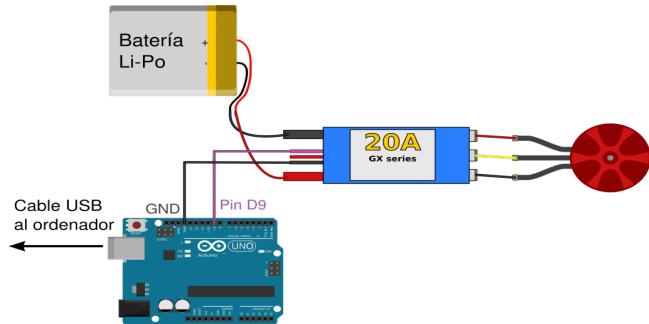


Figura 5.9: Esquema de conexiones para realizar prueba del motor

```

1  /* Programacion de un ESC con Arduino
2  *
3  * La velocidad del motor puede cambiarse enviando
4  * un entero entre 1000 (vel. minima) y 2000 (vel. max.)
5  * por Serial.
6  *
7  */
8 #include<Servo.h>
9
10 //Crear un objeto de clase servo
11 Servo ESC;
12
13 //Amplitud del pulso
14 int vel = 2000;
15
16
17 void setup()
18 {
19     //Asignar un pin al ESC
20     ESC.attach(9);
21
22     //Activar el ESC -> 1000 = 1ms
23     ESC.writeMicroseconds(1000);
24
25     //Esperar 5 segundos para hacer la activacion
26     delay(5000);
27
28     //Iniciar puerto serial
29     Serial.begin(9600);
30     Serial.setTimeout(10);
31 }
32
33
34 void loop()
35 {
36     if(Serial.available() >= 1)
37     {
38         vel = Serial.parseInt(); //Leer un entero por serial
39         if(vel != 0)
40         {
41             //Generar un pulso con el numero recibido
42             ESC.writeMicroseconds(vel);
43         }
44     }
45 }
```

Script 5.1: Código para comprobar funcionamiento de los motores.

En la Fig.5.10 (que fue obtenida mediante el módulo de representación de datos en etapas posteriores) se puede observar una gráfica de tiempo vs RPM (*Revolutions Per Minute*).

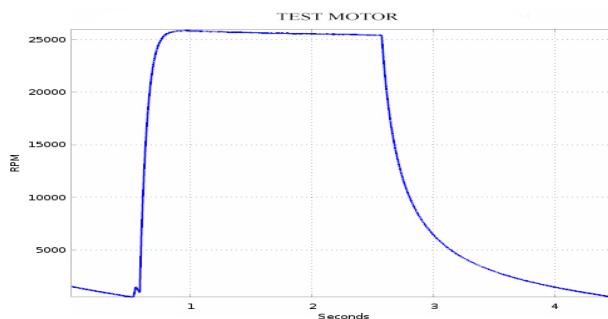


Figura 5.10: Gráfico tiempo-RPM de los motores probados con el script

5.3.2.5. Raspberry Pi - Navio2

La prueba de funcionamiento de dichas placas se comprueba con la interacción con el software desarrollado.

5.3.2.6. Arduino

En lo que compete a la placa Arduino, en el esquema presentado en la Fig.5.5 la misma cumple la función de un conversor PWM a PPM, el cual es el protocolo de señal necesario para que la placa Navio2 interprete las señales enviadas por el radio control. En nuestro caso, ya se han probado los dispositivos conectados al mismo, por lo tanto sólo nos queda corroborar que el tipo de señal enviada sea el correcto. Para realizar esta prueba es necesario contar con un osciloscopio, que muestre el tipo de señal enviada por el pin configurado en la placa Arduino. Como no disponemos momentáneamente de un osciloscopio, se recurre a la simulación; de manera que se utiliza el software de la siguiente página web www.library.io, el cual proporciona un simulador de código y además nos da la posibilidad de mostrar la señal generada por un osciloscopio digital. Luego de corroborar que la señal es correcta mediante el programa de simulación, se mide mediante un tester que la corriente promedio de salida se mantenga en un valor aceptable para comprobar que la placa este funcionando correctamente. Por último, en la Fig.5.11 se puede apreciar todo el sistema conectado según el diagrama de la Fig.5.5. Exceptuando los motores, que han sido debidamente desconectados al momento de realizar las pruebas; y únicamente se ha conectado un motor sobre una base de madera, con el fin de mantener el mismo inmóvil al momento de enviar las órdenes de arrancar.

5.3.3. Prueba integral

Ya probado que tanto la plataforma como el vehículo estén en condiciones, se procede a realizar las pruebas integrales entre ambas partes (Proyecto-Vehículo). Para esto se descomponen dichas pruebas en categorías o "módulos" que se han definido en el comienzo del proyecto por los *stakeholders*.



Figura 5.11: Conexiones terminadas

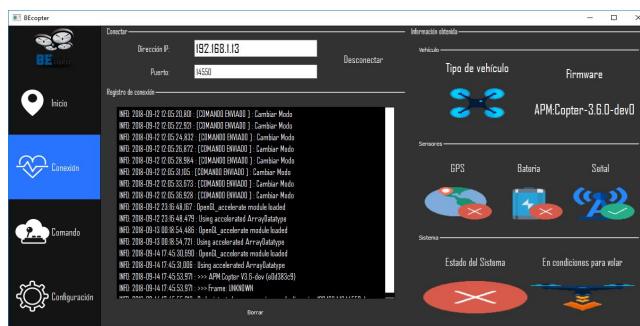


Figura 5.12: Módulo de conexión del proyecto

5.3.3.1. Conexión

El módulo de conexión es el encargado de habilitar y mantener toda la comunicación entre el vehículo y nuestro software, por tanto éste debe ser lo bastante robusto para interpretar los principales errores producidos por la red de comunicación elegida. El script 5.3.3.1 muestra la funcionalidad principal que se encarga de conectarse con nuestro vehículo y mediante los try-except gestiona el control de errores proporcionando al usuario (en caso de generarse alguno) su respectivo mensaje informativo.

```

47     try:
48         if port_host != None:
49             # Concatenamos la dirección IP con el puerto
50             source = ip_host + ":" + port_host
51         else:
52             # En caso de entrar aqui es porque se ha ingresado un
53             # puerto serial
54             source = ip_host
55         # Utilizamos la función connect de DroneKit
56         self.v = connect(source,
57                           wait_ready=True,
58                           heartbeat_timeout=10,
59                           status_printer=logging.info)
60         # El parámetro wait_ready = True garantiza que connect
61         # () no volverá

```

```

60     # hasta que Vehicle.parameters y la mayoria de los otros
61     # atributos
62     # predeterminados se hayan rellenado con valores del
63     # vehiculo.
64
65     logging.info("Se ha conectado con la direccion {} de"
66                 " manera exitosa".format(source))
67
68     self.__on = True
69     self.descargarMisiones(False)
70
71     # Error TCP connection
72     except socket.error:
73         logging.info('No se ha encontrado el vehiculo, por favor'
74                     ' compruebe la conexion')
75         raise WindowsError('No se ha encontrado el vehiculo, por'
76                     ' favor compruebe la conexion')
77
78     # Error TTY connection
79     except exceptions.OSError as e:
80         logging.info('No se pudo establecer conexion con el puerto'
81                     ' serial')
82         raise WindowsError('No se pudo establecer conexion con el'
83                     ' puerto serial')
84         return
85     except APIException:
86         logging.info('Se ha exedido el tiempo de espera para'
87                     ' establecer la conexion!')
88         raise WindowsError('Se ha exedido el tiempo de espera'
89                     ' para establecer la conexion!')
90
91     except :
92         logging.info('Ha ocurrido un error inesperado. ')
93         raise WindowsError('Ha ocurrido un error inesperado. ')

```

Script 5.2: Segmento de código que gestiona la comunicación con el UAV.

Según el código mostrado, podemos realizar una conexión con nuestro vehículo mediante un dispositivo que se conecte por puerto serial o a través de la red, ya sea mediante Ethernet o Wireless (utilizando UDP [13]).

- **Conexión mediante el puerto serial:** Para comprobar el funcionamiento, se han realizado anteriormente pruebas de conexión utilizando el protocolo **SSH!**, el cual nos permite interactuar mediante una consola de comandos con nuestro vehículo, dándonos los datos solicitados sin ningún tipo de problema. Cabe mencionar que el objetivo de este tipo de conexión es utilizar los módulos inalámbricos XBee/LoRa.
- **Conexión mediante la red local:** Por comodidad al momento de transportar el vehículo en los lugares en que la fuente de alimentación necesitaba conectarse, este tipo de conexión nos ha resultado la más beneficiosa. El mismo utiliza un Router TP LINK TL-WR841N con una cantidad de 10 clientes conectados de manera inalámbrica en el domicilio utilizado. Además, se han realizado las mismas pruebas pero dentro de las instalaciones

del $\text{sinc}(i)$ con una cantidad de 50 clientes conectados aproximadamente al mismo router de pruebas. Y para este caso, la conexión sufría de varias interrupciones continuas. Por lo que obtenemos como conclusión para estos casos que el router utilizado para el envío de comandos no debe ser utilizados por muchos usuarios, que de ser así la conexión no será la óptima.

Pruebas de interrupción de conexión

Un aspecto importante a tener en cuenta, es el momento en que la conexión se vea interrumpida. Por tal inconsistencia que puede ocurrir fácilmente se han realizado pruebas simulando dicho fenómeno y comprobando cómo se comporta el software y el vehículo al ocurrir este hecho. Cuando este inconveniente se presente, tanto el vehículo como el software comparten una variable en común llamada *last heartbeat*, la cual contiene información sobre el tiempo (en segundos) en que ha recibido su último mensaje proveniente del vehículo, en el script 5.3.3.1 se puede observar el comportamiento del estado de la señal según la respectiva variable.

```

86
87 # Testing on SITL indicates that last_heartbeat averages
88 # about .5 seconds,
89 # but will rarely exceed 1.5 seconds when connected.
90 # Whether heartbeat monitoring can be useful will very much
91 # depend on the application.
92
93 if self.v.last_heartbeat > 1 and self.v.last_heartbeat <=
94     1.5 :
95     estados['signal'] = None
96 elif self.v.last_heartbeat <= 1 and self.v.last_heartbeat :
97     estados['signal'] = True
98 else:
99     estados['signal'] = False

```

Script 5.3: Segmento de código encargado de mostrar la información de la señal.

En el código anterior se puede observar que existe una variable correspondiente al estado de la señal, el mismo puede contener 3 valores: [False, None, True]. En caso de tener el valor de False, esto quiere decir que la conexión se ha perdido, ya que se ha superado el rango establecido; cuando el valor de *last heartbeat* está comprendido entre 1 y 1.5 segundos, tendrá un estado None, el mismo significa que está dentro de valores de precaución ya que está recibiendo mensajes con un poco de demora. Y por último en caso de estar en valores normales de tiempo tendrá un valor de True, indicando que estamos recibiendo información a tiempo del vehículo, esta estructura simula el comportamiento de un semáforo.

- **Comportamiento del vehículo:** Como mencionamos, la variable *last heartbeat* es compartida entre el software y el vehículo. Por lo tanto cuando el vehículo detecte que se ha perdido la conexión tenemos 3 posibilidades:

1. Aterrizar
2. Volver al inicio

3. Quedarse suspendido en el aire

Por defecto el vehículo estará en suspensión en el aire (siempre y cuando el nivel de batería lo permita) y en caso de agotar la batería, se procederá a aterrizar el vehículo. Se procede de esta forma ya que se considera que el vehículo puede encontrarse en una zona no apta para aterrizar, como por ejemplo sobre una edificación, un río, árbol, etc. El mismo puede llegar a estropearse, por lo tanto seguirá pendiente hasta que la conexión se restablezca y en el último de los casos se procede a aterrizar (ya que se supone el problema de que el equipo de comunicación se estropee o el mismo software cierre inesperadamente su ejecución por algún motivo). Es importante tener en cuenta que estas acciones pueden ser cambiadas en la respectiva configuración de la aplicación.

- **Comportamiento del software:** Cuando este inconveniente se presente, el software, en primera instancia, tratará de reconectarse por un tiempo estipulado (5 segundos) y en caso de no poder restablecerá el estado del programa al mismo que cuando se inicia la aplicación en primera instancia, con el objetivo de deshabilitar las funciones dependientes del vehículo y dejar a disposición del usuario volver a conectarse en caso de ser necesario.

5.3.3.2. Representación de datos

La visualización de los datos es un aspecto importante cuando estamos controlando algún objeto a distancia, ya que es necesario conocer el estado del mismo, y con mayor importancia cuando el objeto no está en nuestro campo visible. Por tal motivo se han realizado varias pruebas sobre los módulos de representación de datos, con el propósito de que éstos muestren fielmente los datos capturados por el vehículo en tiempo real.

- **Gráfico temporal de datos:** El objetivo de este módulo de software en nuestro proyecto, como su nombre lo dice, es poder representar la evolución temporal de los datos provenientes de algún sensor o estado del vehículo mediante una gráfica.

Según lo especificado en el ERS, se ha propuesto utilizar la biblioteca Vispy⁴, esta escrita en Python y diseñada específicamente para la visualización interactiva de gran cantidad de datos de forma rápida, escalable y fácil. Pero más allá de sus prestaciones, al momento de realizar las **pruebas de integración** se ha observado que el rendimiento de nuestro software se ha reducido considerablemente; esto es debido a que Vispy utiliza distintas tecnologías al renderizar las figuras, por lo que se debió incrustar dicho gráfico de manera brusca para poder ver su funcionamiento. Al momento de querer optimizar dicho rendimiento, al ser Vispy una biblioteca nueva, su documentación y por lo tanto su comunidad era escasa, y como es de esperar no se encontraba la ayuda necesaria para poder solventar los problemas presentes. Por tales motivos se recurre a la búsqueda de alguna alternativa que se adapte a nuestras necesidades; luego de encontrar y analizar las bibliotecas disponibles se llega a la decisión de utilizar PyQtGraph⁵. Esta además de todas su prestaciones en el ámbito

⁴Sitio web de Vispy <http://vispy.org/>

⁵Sitio web de PyQtGraph <http://pyqtgraph.org/>

científico / matemático / aplicaciones ingenieriles, está construida con las misma biblioteca que utilizamos en nuestro proyecto, que es PyQt⁶. Por lo tanto, esto generó una excelente adaptabilidad y rendimiento al momento de realizar las pruebas de integración. Para las **pruebas unitarias/estrés/funcionales** se ha creado el módulo *GraphDatav2*, el cual ha sido puesto en prueba hasta su máximo potencial. Utilizando una señal de tipo aleatoria como datos de prueba (ya que el mismo contiene una gran cantidad de componentes frecuenciales) y se ha calculado su respectiva transformada de Fourier (utilizando la Transformada Rápida de Fourier), con el fin de corroborar que los cálculos de los mismos no ralenticen el funcionamiento del mismo, y luego de realizar las pruebas nos suministró resultados dentro de las expectativas de rendimiento. Siendo estas:

- Fluidez en la animación de la figuras.
- Que no interrumpa el flujo de trabajo de la aplicación en general.
- La interfaz ofrece de herramientas como zoom y paneo, por lo tanto al momento que el usuario las utilice es deseable que el mismo no retarde el renderizado.
- Fluidez al momento de graficar el límite de figuras permitidas (5 - 10).

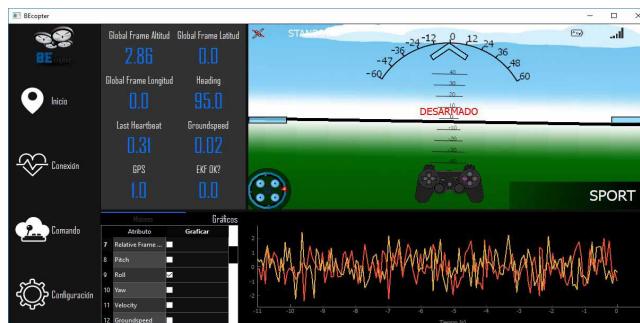


Figura 5.13: Módulo de representación de datos

- **HUD:** A diferencia del módulo anterior, su responsabilidad es mostrar al usuario de manera instantánea los estados sobre los componentes integrados al vehículo, como también algunos de sus respectivos valores. Por lo tanto, más allá de sus pruebas unitarias/funcionales/estrés/integración aquí entra en juego las pruebas de aceptación proporcionadas por “los pilotos de los vehículos”, ya que el mismo debe ser indispensable al momento de mostrar los valores que ayuden al piloto del vehículo en tener un conocimiento general del mismo en plena ejecución. Así que de manera preventiva se ha desarrollado el mismo imitando en lo mejor posible a los HUD’s reales, con el fin de tener una base de diseño que sea válida en la vida real. Con respecto a las pruebas de integración hemos detectado que no cumple con nuestras necesidades de rendimiento, esto causa que el software se ralentice y no pueda interpretar “en tiempo real” la información

⁶Sitio Web de PyQt <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro>

recibida del vehículo como también los comandos enviados. Por lo que se decidió temporalmente deshabilitar algunas características del HUD hasta que se encuentre su respectiva solución.



Figura 5.14: Head Up Display

5.3.3.3. Control del vehículo

El control del vehículo, ya sea de forma manual o automática, es una de las funcionalidades principales de este software. En lo que es el control manual, consiste en estar consultando constantemente los eventos producidos por un joystick y según una respectiva preasignación se ejecuta un comando sobre el vehículo. Y en el caso del control automático, se requiere que se envíen un conjunto de misiones preconfiguradas y al ser recibidas por el vehículo, que el mismo las ejecute.

- **Control Manual:** Para poder ejecutar las pruebas del funcionamiento del control manual, es indispensable que el módulo de comunicación funcione correctamente, ya que el control manual depende del mismo. Al momento de ejecutar las pruebas unitarias, entran en juego varias clases, como lo son la clase Vehículo y Joystick. Por lo tanto se ha realizado en primera instancia el control manual con envío de acciones con una duración definida de tiempo, simulando la interacción con el joystick, y para determinar si los comandos han sido interpretados por el vehículo se ha analizado la evolución temporal del giro de los motores (utilizando el módulo de representación de datos) medido en [RPM], y mostrándonos resultados aceptables y razonables como se puede ver en la Fig.5.9

Luego de comprobar el correcto funcionamiento de los motores según comandos limitados en tiempo, se inicia el proceso de pruebas con el joystick. En este caso se utiliza una clase auxiliar *Capturador* que ha sido creada con el fin de ejecutarse en un hilo de ejecución independiente para no congestionar el procesamiento de manera secuencial o interrumpir el hilo de ejecución padre. En el script 5.3.3.3 podemos apreciar su funcionamiento:

```

97  class Capturador(QThread):
98      "Clase encargada de capturar en background los
99          comandos que se envian del Joystick"
100     condicion_para_capturar = False
101     def __init__(self, parent):

```

```

101     super(Capturadorr, self).__init__(parent)
102     # QThread.__init__(parent)
103
104     def capturing(self, run):
105         self.condicion_para_capturar = run
106
107     def __del__(self):
108
109         self.exit(0)
110
111     def capturarComandos(self):
112         try:
113             while True:
114                 if self.condicion_para_capturar:
115                     eventos = pygame.event.get()
116                     for e in eventos:
117                         # e.type == 7, es un código de tipo
118                         # joymotion
119                         if e.type == 7:
120                             self.emit(SIGNAL('mostrarEje(int,float)'), e.axis, e.value)
121                             self.emit(SIGNAL('sendManualCmd(int,
122                                         float,bool)'), \
123                                         e.axis+12, e.value, True)
124                         if e.type == 10: #Es de tipo JoyButtonDown
125                             self.emit(SIGNAL('sendManualCmd(int,
126                                         float,bool)'), e.button, 1.0, False)
127                     except:
128                         WindowsError("Error de comando", "Ah ocurrido un
129                           error al enviar los comandos" )

```

Script 5.4: Segmento de código que gestiona la captura de eventos del joystick.

La función *sendManualCmd* posee comandos preestablecidos por el usuario, por lo tanto, cuando se presione algún botón o se mueva algún joystick (palancas) identificado con un id (primer parámetro entero) y su respectivo valor, la clase *Capturador* emitirá una señal a su respectivo objeto instanciador y procederá a enviar los comandos pertinentes al vehículo. Para comprobar dichas funcionalidades únicamente se ha observado el comportamiento de los motores al girar, ya que al enviar un comando de detención, los mismos respondían correctamente a dicha acción.

- **Control automático:** En este apartado se comprueba el gestionamiento de las misiones, como por ejemplo: que las mismas puedan ser enviadas y recibidas correctamente por el vehículo, y que sean debidamente validadas mediante la interfaz gráfica. Por otro lado, tenemos que verificar que dichas misiones sean ejecutadas por el vehículo. Para comprobar dicha funcionalidad se han cargado y enviado, mediante la aplicación, misiones unitarias con el fin de corroborar el comportamiento del vehículo según la misión asignada. Pero antes de enviar cualquier tipo de misión, se tuvo que atar al vehículo a una base fija con el fin de que al momento de realizar algún tipo de movimiento inadecuado, el mismo no pierda el control y se

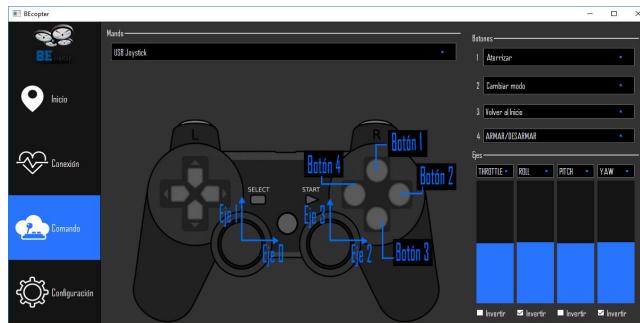


Figura 5.15: Configuración del módulo de control manual

estrella con algún objeto. Las pruebas por cada misión llevaron el siguiente procedimiento:

- **Despegar:** En este tipo de misión el vehículo procede a elevarse, de esta manera, los motores generaron la suficiente propulsión para elevar la estructura del vehículo.
- **Aterrizar:** Posicionando el vehículo a una altura no mayor a 30CM (*Centímetros*), dejamos que descienda el mismo suavemente, procurando que no se desestabilice y se apoye suavemente sobre la base a la cual está atada.
- **Suspenderse en el aire:** Al momento de ejecutar dicha misión, se ha suspendido con una cuerda al vehículo con el fin de observar que el mismo pueda mantenerse en el aire el tiempo indicado en la misión (3 segundos) de manera estable.
- **Punto Objetivo:** En este caso, se ha ordenado al vehículo simplemente moverse hacia la izquierda. Por lo tanto el mismo realizó un pequeño giro sobre su eje *Roll*, propulsándose lentamente hacia su izquierda, como se le ordenó.

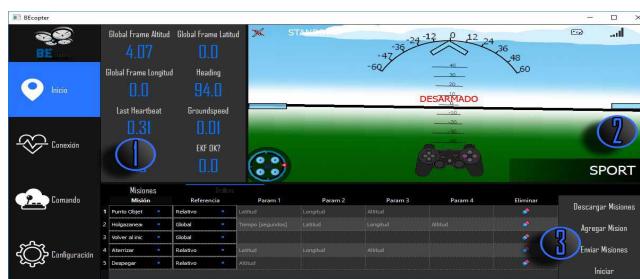


Figura 5.16: Módulo de control automático del vehículo

5.3.3.4. Parametrización

El módulo encargado de la parametrización, es simplemente una interfaz gráfica que muestra las opciones disponibles y configurables del firmware del

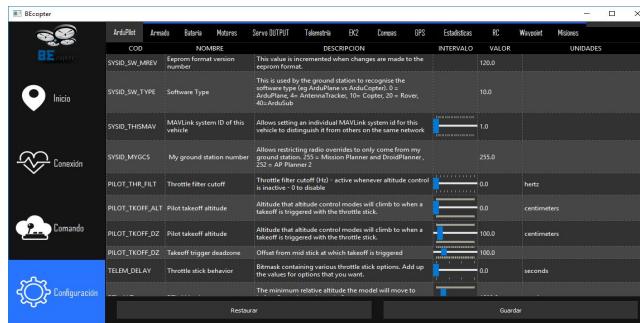


Figura 5.17: Pestaña de parametrización del Autopiloto

autopiloto, como se puede ver en la Fig.5.17. Por lo tanto, se valida que esta información sea mostrada de manera correcta. Además, esta pestaña permite modificar los valores de cada parámetro, por lo que es necesario validar esta modificación y que sea guardada de forma correcta. Por último probando que el vehículo con sus respectivas parámetros modificados se comporte según lo configurado.

Capítulo 6

Conclusión y trabajos futuros

El mundo es redondo y lo que puede parecer el final, también puede ser el comienzo.
-Anónimo-

RESUMEN: En este último capítulo se discutirán los aspectos a mejorar sobre el software, a causa de los resultados obtenidos en las secciones previas; como también los conocimientos adquiridos extracurriculares que han sido enfrentados por el ejecutante del proyecto.

6.1. Conclusión

Llegando a la parte final del informe de este proyecto nos queda evaluar cuáles ha sido los resultados, no únicamente del software en sí, sino como ha afectado todo el desarrollo al ejecutante del proyecto, si fue posible adquirir conocimientos por tal experiencia o no. Es por esto que a continuación se detallarán unas breves opiniones personales sobre cada etapa del proyecto.

- **Obtención y análisis de requerimientos:** En dicha etapa se ha manejado mucha incertidumbre, más allá de que los objetivos generales estén claros, el ejecutante del proyecto se encontraba con muchas dudas técnicas en cuanto a la implementación de cada funcionalidad, si las librerías actuales podrán satisfacer los requerimientos de rendimiento o en caso de no encontrarlos si llevaría mucho tiempo el desarrollo del mismo y consecuentemente el retraso del proyecto. Pero más allá de estas dudas, se ha descubierto que mientras los requerimientos estén bien estipulados, uno puede buscar alternativas que satisfagan dicha funcionalidad más allá de que no cumpla en su totalidad los requerimientos de rendimiento. Como por ejemplo, en la elección de la librería *PyQtGraph* en vez de *Vispy*, ya que era la estipulada inicialmente. Por lo tanto, de esta etapa hacemos foco que es de suma importancia obtener los requerimientos correctos dictaminados por los *stakeholders* y además, un error que se considera haber cometido, es darle al usuario final únicamente resultados al finalizar una etapa y no ir mostrando avances en el transcurso del mismo. Ya que al momento de desarrollar, el programador estaba libre de codificar las funcionalidades que a él le parecían conveniente, habiendo casos en que al final no era necesario dicha funcionalidad, por lo cual se había malgastado un recurso en un proyecto, como lo es el tiempo.
- **Gestión de componentes y armado del cuadricóptero:** En esta fase del proyecto ha sido la que más beneficios se han podido obtener para el ejecutante. Ya que el mismo ha sido desarrollado en las oficinas del sinc(*i*) por lo tanto, el trabajo en equipo era algo inevitable, ya que en esta etapa entraban en juego varios aspectos a tener en cuenta, como redes, electrónica, sistemas operativos, procesamiento digital de señales, entre otros, y además por el tiempo limitado al cual el ejecutante disponía (ya que debía alquilar en la ciudad de Santa fe) le ha jugado en contra. Pero al estar dentro de un grupo de personas relacionados en el tema, esta transición ha sido sumamente placentera ya que al momento de encontrarse con algún tipo de dificultad que para el ejecutante le resultaba complicado obtener una solución; con la ayuda de personal especializado encontrar dicha solución consumía muchísimo menos tiempo, además de aprender técnicas nuevas y conocimientos enseñados por dicho personal. En lo que podemos destacar que el trabajo en equipo para proyectos medianamente grandes, es un punto a tener en cuenta.
- **Desarrollo de la plataforma:** Durante el transcurso de la carrera hemos aprendido a programar, a resolver problemas específicos utilizando algún tipo de paradigma, además de diseñar y organizarse en las etapas anteriores utilizando técnicas provistas por la ingeniería de software. Pero al momento de encontrarse con un proyecto real de un tamaño mucho

mayor a los realizados en el cursado de la carrera, uno se enfrenta con un mundo totalmente distinto, ya que se encuentran un sin fin de tecnologías nuevas, librerías, frameworks, plugins, lenguajes informáticos, metodologías de trabajo, aplicaciones que resuelven tareas o las automatizan, etc; por lo que conllevó parte del tiempo del proyecto investigar sobre estas nuevas tecnologías y en lo que se estima que ha formado parte del conocimiento como programador, que es un aspecto paralelo a lo que se dio en el cursado de la carrera en lo que respecta al desarrollo de proyectos de software. Pero un punto a favor que se ha notado drásticamente en esta etapa, es que la carrera ha predisposto al alumno de herramientas (ingenio) para poder resolver problemas que se iban presentando continuamente, por lo que más allá de la falta de práctica en proyectos medianos pudimos comprender que tenemos la capacidad de enfrentarnos a cualquier tipo de proyectos, ya que contamos con las bases que han sido adquiridas con la ayuda de todas las materias cursadas de la carrera.

- **Prueba integral de la plataforma y del cuadricóptero :** Finalmente, luego de haber terminado con la realización de los distintos tipos de pruebas y comprobar que cada funcionalidad de nuestra aplicación, como también de nuestro vehículo estén funcionando correctamente, llegamos a la conclusión de que el *Aseguramiento de la calidad* es un aspecto muy importante en el desarrollo de cualquier tipo de proyecto.

De tal manera, como mencionamos en la introducción del capítulo 5, este proceso se aplica de manera integral desde los inicios del proyecto hasta en las últimas etapas; pero cabe destacar que este proceso del *Aseguramiento de la calidad* no ha sido aplicado correctamente en las etapas iniciales al proyecto ya que se consideraba como una tarea irrelevante, por lo cual, y como es de esperarse en etapas posteriores nos encontrábamos que muchos errores y con la consecuencia de tener módulos deficientes e inseguros. Lo que impedía proseguir con el proyecto ya que se dificultaba la tarea del desarrollo debido a código no robusto y metodologías poco probadas. Así que nos vimos obligados de reformular la estrategia de las etapas siguientes con respecto a las pruebas y además, aplicar dicha técnica por primera vez a las etapas iniciales para asegurar que en un futuro la aparición de los errores disminuya. De esta manera se ha aprendido, y por lo tanto, se incorporará como “buenas prácticas”, integrar el proceso de QA en proyectos futuros para el cual participe el alumno.

6.2. Trabajos Futuros

En lo que respecta a los trabajos futuros, el presente proyecto tiene la posibilidad de implementar varias funcionalidades en sus próximas versiones. Entre las más destacadas, se describen aquí un conjunto de funcionalidades que tienen como objetivo principal, poder abarcar más tipos de vehículos como también dar mejores funcionalidades al usuario al momento de utilizar el software. Dentro de estas mejoras tenemos:

- **Adaptación para varios vehículos:** Por motivos de recursos materiales y poder observar si el proyecto puede ser viable, únicamente se ha desarrollado la aplicación para utilizarlo sobre vehículos aéreos no tripulados

de tipo cuadricóptero ya que era el único disponible para encarar dicho proyecto. Por lo tanto, en las próximas versiones, se incluirá la opción de comandar vehículos tanto aéreos, terrestres y náuticos, como por ejemplo: submarinos, lanchas, aeroplanos, rover y variantes del cuadricóptero como tricópteros, hexacópteros, etc. En las Figuras 6.2, 6.3, 6.4, pueden apreciarse ejemplos de vehículos a los cuales el software puede incluir.

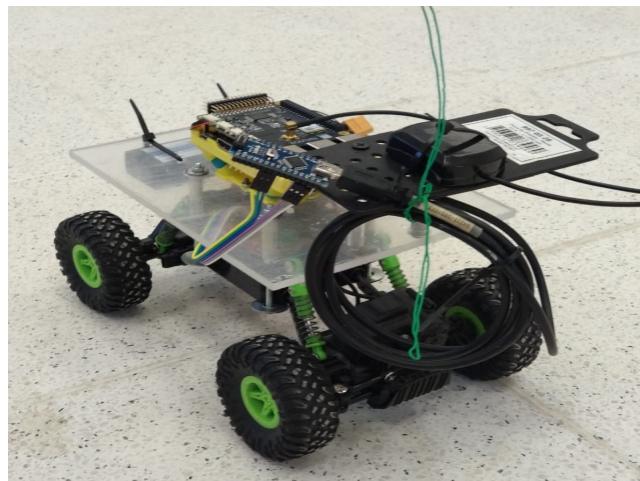


Figura 6.1: Rover autónomo, propiedad del sinc(i)



Figura 6.2: Proyecto Ziphius¹

- **Mapa satelital:** Ya que dicho requerimiento no estaba especificado inicialmente, se ha descartado su implementación, debido a que no se con-

¹Página web del proyecto Ziphius <http://myziphius.com/>

²Página web del proyecto <https://soe.rutgers.edu/rutgers-aerial-aquatic-drone-soars-higher-and-higher>

³Página web del proyecto <https://www.parrot.com/global/minidrones/parrot-hydrofoil-orak#parrot-hydrofoil-orak>

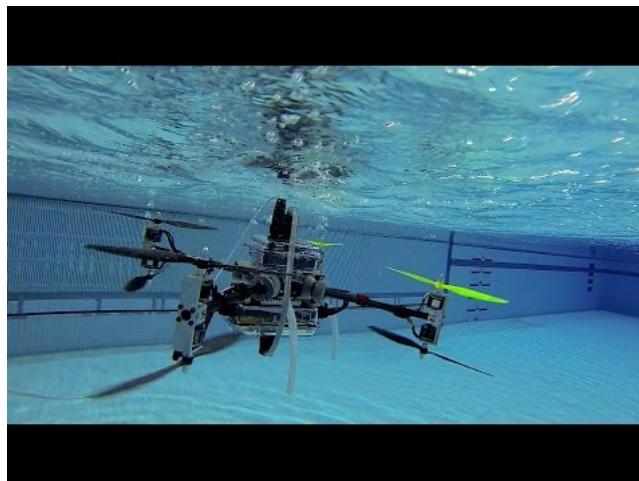


Figura 6.3: Drone acuático & volador de la Universidad de Rutgers²



Figura 6.4: Drone aerodeslizador - Parrot³

sideraba relevante para pruebas iniciales en un marco de referencia local, por lo tanto para las próximas versiones se considerará incluir un mapa, con el propósito de poder geolocalizar los puntos objetivos y moverse según puntos ubicados sobre un mapa satelital utilizando el GNSS.

- **Cámara:** Un aspecto importante a considerar es la utilización de un capturador de imágenes con su respectivo controlador de movimientos a través del Gimbal, este elemento es una plataforma motorizada y controlada mediante una placa con varios sensores, generalmente acelerómetros y compás magnético que se encarga mediante el uso de algoritmos de control y PID's de mantener un objeto, normalmente una cámara estabilizada, de modo que independientemente del movimiento que realice el portador de la misma, ésta quede estable permitiendo tomar buenas capturas. De esta manera se considerará reemplazar el fondo del HUD, por las imágenes

capturadas por el sensor correspondiente. Además, de presentar opciones para el gestionamiento de las mismas, como almacenamiento, aplicaciones de algoritmos en tiempo real, alteraciones de la misma, etc.

- **Conexión automática:** Hasta el momento para establecer una conexión entre el vehículo y el equipo era necesario ingresar la dirección IP a la cual el equipo tenía asignado dentro de la misma red. Esto para el usuario conlleva un trabajo extra, por lo tanto, para las próximas versiones se integrarán más funcionalidades con el fin de facilitar esta conexión.
- **Calibración de sensores:** Dentro de las restricciones para utilizar la aplicación se requiere que los sensores estén calibrados, esto conlleva utilizar una aplicación extra, como se puede ver en la Fig.3.24. Por lo que se considerará principalmente agregar dicha funcionalidad al mismo proyecto con el fin de canalizar estas opciones.

Apéndice A

Documento de Especificación de Requerimientos



BEcopter

Especificación de Requerimientos de Software

Bastida Eric

mayo, 2019

Fecha	Versión	Descripción	Autor
24/09/18	1.0	Especificación de Requerimientos	Bastida Eric
25/09/18	1.1	Se realizan cambios, comentarios y sugerencias	Marina Murillo
25/09/18	1.2	Se resuelven las sugerencias	Bastida Eric
22/02/18	1.3	Se corrigen y mejora los requerimientos	Lucas Genzeliz
07/05/19	1.3	Sugerencias y correcciones.	Guido Sanchez
15/05/19	1.3	Se resuelven las peticiones.	Eric Bastida

Índice

1. Introducción	2
1.1. Propósito	2
1.2. Alcance	2
1.3. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas	3
1.4. Referencias	5
1.5. Visión general del documento	5
2. Descripción general	6
2.1. Perspectiva del producto	6
2.2. Funciones del producto	6
2.3. Características de los usuarios	7
2.4. Restricciones	7
2.5. Suposiciones y Dependencias	8
2.6. Requisitos Futuros	8
3. Requisitos Específicos	9
3.1. Interfaces Externas	9
3.1.1. Interfaces de usuario:	9
3.1.2. Interfaces de hardware:	11
3.1.3. Interfaces de software:	11
3.1.4. Interfaces de comunicación:	11
3.2. Requisitos funcionales	12
3.3. Requisitos no funcionales	14

1. Introducción

En este documento destinado a la Especificación de Requerimientos de Software (ERS) se describirán los aspectos que están involucrados en el desarrollo del proyecto BEcopter. Dicho proyecto consiste en una plataforma para el guiado y navegación de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), es decir, este software permitirá al usuario realizar maniobras aéreas de forma manual con un joystick o bien mediante un conjunto de instrucciones cargadas en modo *batch* dentro del vehículo que le permitirán desplazarse en un determinado ambiente. Además esta plataforma le brindará al usuario toda la información necesaria del estado del vehículo y sensores.

Cabe mencionar que el formato en que se desarrolló este documento fue basado en el estándar 830-1998, proporcionado por la IEEE.

1.1. Propósito

El presente documento tiene como propósito definir los diferentes tipos de requerimientos que han sido obtenidos de los usuarios que utilizarán de manera directa o indirecta el sistema (*stakeholders*) mediante técnicas de ingeniería en requerimientos [1], incluyendo además, los juicios que se han considerado para la planificación y diseño del software. Toda esta información es de utilidad para el desarrollador del presente proyecto para avanzar en el desarrollo del mismo y, sobre todo, informar de manera clara y precisa a los agentes evaluadores del proyecto: directores e integrantes de la cátedra *Proyecto Final de Carrera* (PFC).

1.2. Alcance

El nombre BEcopteres un acrónimo originado por las iniciales del ejecutor del proyecto y el tipo de vehículo que se utiliza para realizar las pruebas. En nuestro caso hacemos uso de un UAV tipo cuadricóptero (o quadcopter en su traducción al inglés), por lo tanto, para el desarrollo del nombre se descarta el prefijo “cuadri” ya que este determina la cantidad de hélices que contiene el vehículo y además esta descripción limita al software al uso de UAVs de cuatro hélices; y como se explicará en la sección 2.6 no únicamente se pretende utilizar cuadricópteros. El sistema proporcionará las acciones necesarias para que el vehículo pueda realizar maniobras en el aire mediante el control de un joystick que será comandado por el usuario o a través de un conjunto de instrucciones que serán cargadas en la plataforma y luego enviadas al vehículo para su ejecución. Estas acciones serán:

- Ascenso,
- Descenso,
- *Hovering*.

Este software proporcionará a la comunidad una plataforma con la cual el usuario final podrá implementar sus propias ideas sin entrar en detalles internos del hardware pertinente al vehículo.

1.3. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

- **Stackholders:** Este término se utiliza comúnmente para referirse a cualquier persona o grupo que se verá afectado por el sistema de manera directa o indirectamente.
- **Plataforma:** Para este tipo de vehículos, es un sistema que sirve como base para hacer funcionar los módulos de hardware y/o de software en conjunto. En lo que concierne al hardware hacemos referencia a los componentes electrónicos del VANT, como pueden ser:
 - Motores,
 - Sensores como por ejemplo, acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, etc.,
 - Periféricos de entrada y/o salida tales como tarjetas SD, puertos USB, entre otros.

Para poder obtener información de cada componente y gestionar sus interacciones es necesario que un software administre en un segundo plano estas tareas, y que de forma sencilla proporcione al usuario funcionalidades para manipular estos componentes electrónicos, con el propósito de realizar acciones de vuelo sobre el vehículo.

- **VANT o UAV:** Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), conocido también por su nombre en inglés como *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) o drone, es una aeronave que vuela sin tripulación. El mismo es capaz de mantener un nivel de vuelo controlado, sostenido y propulsado por uno o varios motores de explosión, electrónicos, o de reacción.
- **Cuadricóptero:** Un cuadricóptero, cuadrirrotor o quadrotor es un helicóptero con cuatro rotores para su sostén y su propulsión. Los cuatro rotores están generalmente colocados en las extremidades de una cruz. A fin de evitar que el aparato se tumbe respecto a su eje de orientación es necesario que dos hélices giren en un sentido y las otras dos en el otro sentido.
- **Roll, Pitch, Yaw:** [2] Los ángulos de navegación (ángulos de Euler) se utilizan para describir la orientación de un objeto en tres dimensiones como se puede observar en la Figura 1.
- **Firmware:** Es un programa informático que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo. Está fuertemente integrado con la electrónica del dispositivo, es el software que tiene directa interacción con el hardware, siendo así el encargado de controlarlo para ejecutar correctamente las instrucciones externas. Por lo tanto un firmware es un software que maneja físicamente al hardware.
- **Modo batch:** (o procesamiento por lotes) es la ejecución de un programa sin el control o supervisión directa del usuario (que se denomina procesamiento interactivo). Este tipo de programas se caracterizan porque su ejecución no precisa ningún tipo de interacción con el usuario.

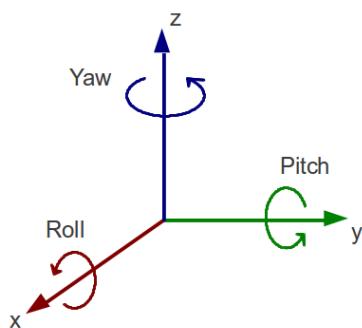


Figura 1: Sistema de referencia.

- **Acelerómetro:** Instrumento que sirve para medir la aceleración de movimiento de un vehículo.
- **Magnetómetro:** Instrumento para medir la fuerza y la dirección de un campo magnético.
- **ESC:** Un control electrónico de velocidad o ESC (Electronic Speed Controller) es un circuito electrónico con el propósito de variar la velocidad de un motor eléctrico, su dirección y posiblemente también actuar como un freno dinámico.
- **GPS:** Sistema estadounidense de navegación y localización mediante satélites.
- **Giroscopio:** Dispositivo electrónico que sirve para medir la orientación en el espacio de algún aparato o vehículo.
- **Brújula:** Instrumento que proporciona una dirección de referencia (respecto al norte) en el plano horizontal y permite la medición de ángulos horizontales con respecto a esta dirección.
- **Barómetro:** Instrumento para medir la presión atmosférica.
- **Horizonte artificial:** El horizonte artificial muestra la orientación longitudinal de la aeronave (la relación del eje longitudinal del vehículo con respecto al plano del suelo), es decir: si está girado, inclinado, con el frente levantado, bajado o todo a la vez. Sirve de gran ayuda en condiciones en que la visibilidad es poca o nula. Su principio mecánico de funcionamiento es giroscópico.

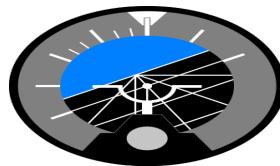


Figura 2: Horizonte artificial indicando un giro a la derecha en descenso.

- **Instrumentos de vuelo:** Conjunto de dispositivos tales como giroscopio, acelerómetro, magnetómetro, ESC, GPS, barómetro, indicador de rumbos, horizonte artificial, brújula que equipan una aeronave y que permiten al piloto llevar a cabo una operación de vuelo en condiciones seguras. Dependiendo de su tamaño o grado de sofisticación, una aeronave puede contar con un número variable de instrumentos [3].
- **Aeromodelismo:** es una afición y un deporte derivado de la técnica de construcción y vuelo de aeroplanos de pequeño, mediano y gran tamaño, denominados aeromodelos, que han sido preparados para volar sin tripulación.

1.4. Referencias

- [1] S. Ian, *Ingeniería del software*. Pearson Educación, 2005.
- [2] J. G. de la Cuesta, *Aviation Terminology = Terminología Aeronáutica*. Diaz de los Santos, 2003.
- [3] Wikipedia, “Instrumentos de vuelo - wikipedia, la enciclopedia libre,” 2017. [Internet; descargado 27-agosto-2017].

1.5. Visión general del documento

De manera informativa y para guiar al lector en la lectura del presente documento, en esta sección se presenta un breve resumen sobre la estructura del mismo. En forma general, este documento se compone de cuatro partes importantes:

1. **Introducción:** En esta sección se proporcionará un panorama general sobre el ERS. Este consta de varias subsecciones: 1.1 Propósito, 1.2 Alcance del sistema, 1.3 Definiciones y 1.4 Referencias.
2. **Descripción General:** En esta sección se describen todos aquellos factores que afectan al producto y a sus requisitos. No se describen los requisitos, sino su contexto. Además, consta de las siguientes subsecciones: 2.1 Perspectiva del producto, 2.2 funciones del producto, 2.3 características de los usuarios, 2.4 restricciones, factores que se asumen y 2.6 futuros requisitos.
3. **Requisitos Específicos** Esta sección contiene los requisitos a un nivel de detalle suficiente como para permitir a los programadores diseñar un sistema que satisfaga estos requisitos, y que permita al equipo de pruebas planificar y realizar las pruebas que demuestren si el sistema satisface, o no, los requisitos. Todo requisito especificado describirá comportamientos externos del sistema, perceptibles por parte de los usuarios, operadores y otros sistemas.

2. Descripción general

2.1. Perspectiva del producto

El producto BEcoptertiene como perspectiva ser una plataforma para el guia-do y navegación de VANTs, esto incluye, aeroplanos, helicópteros o multirotores como pueden ser tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros, etc. El producto de-pende de un firmware que es distribuido bajo la licencia GNU por la empresa Ardupilot¹, este es el encargado de gestionar todo el hardware perteneciente al vehículo mediante un software a bajo nivel, y que a su vez, brinda funcionali-dades básicas de control e información sobre el estado del vehículo.

2.2. Funciones del producto

En esta subsección del documento se explicarán, a grandes rasgos, las fun-cionalidades que proporcionará la plataforma BEcopter:

- **Control del vehículo:** Mediante esta funcionalidad se pretende que el sistema pueda proporcionar de manera clara y sencilla al usuario acciones que puedan ser ejecutadas por el vehículo, como pueden ser: despegar, moverse y aterrizar. En lo que respecta a las funciones se podrán hacer de dos maneras distintas.
 1. **Modo manual:** El usuario podrá controlar el vehículo mediante un joystick que enviará las señales correspondientes al sistema y según una configuración predeterminada serán interpretados por el vehículo para realizar las acciones que han sido fijadas.
 2. **Modo batch:** En este modo el sistema brindará distintos tipos de acciones (denominadas misiones) que el usuario podrá seleccionar de manera secuencial, es decir, siguiendo un orden correspondiente co-mo por ejemplo: primero despegar luego elevarse e ir a una ubicación específica, etc. Además, se le podrán asignar atributos a cada ac-ción como pueden ser: velocidad, posición, altura, etc. Una vez que el usuario selecciona este conjunto o lote de acciones el sistema las enviará al vehículo para que sean ejecutadas.
- **Comunicación inalámbrica:** Para que el sistema pueda comunicarse con el vehículo se debe seleccionar algún tipo de medio por el cual sea posible transmitir los datos; ya que el vehículo se desplazará en grandes espacios despejados, es recomendable que los datos se envíen de manera inalámbrica. Por tanto, el sistema tendrá la responsabilidad de propor-cionar las funcionalidades correspondientes a la gestión de comunicación inalámbrica entre la plataforma y el vehículo.
- **Visualización de datos:** Poder representar datos como ubicación, ve-lo-cidad, altura, estado de motores, entre otros aspectos, es de suma impor-tancia ya que brinda información relevante al usuario para poder realizar, en tiempo real, maniobras de salvaguarda sobre el vehículo o capturar in-formación para realizar algún tipo de análisis para su posterior estudio. Es por eso que el sistema representará de manera numérica todos los datos

¹ArduPilot - www.ardupilot.org

que sean necesarios para la navegación, control y sensores del vehículo. Además, dará la opción de poder visualizar estos datos, que van cambiando continuamente a través del tiempo en forma gráfica. Esto es un aspecto importante ya que permite al usuario ver cómo es el comportamiento temporal de variables críticas del vehículo y/o datos a analizar.

2.3. Características de los usuarios

En lo que respecta al tipo de usuario final que utilizará el sistema, son dos:

1. Usuario normal:

Tipo de usuario	Normal.
Formación	Conocimientos básicos en informática y aeromodelismo.
Habilidades	Navegación en vehículos aéreos.
Actividades	Uso y configuración de la plataforma.

2. Usuario desarrollador:

Tipo de usuario	Desarrollador
Formación	Ciencias de la computación
Habilidades	Programación en Python y navegación en vehículos aéreos.
Actividades	Uso y configuración de la plataforma. Implementación de rutinas.

2.4. Restricciones

Esta subsección corresponde a aquellas limitaciones que se imponen al desarrollador del producto.

- Sistema Operativo: Linux.
- Tipo de software: Desarrollado para ordenadores de tipo escritorio.
- Funciones de vuelo: Momentaneamente se desarrollarán 3 funciones
 1. Ascender,
 2. Descender,
 3. *Hovering*.
- Interfaz gráfica de usuario: Desarrollada mediante la librería PyQt².
- Limitaciones de hardware: Por pertenecer a un software de tipo de control de navegación de vehículos aéreos es necesario tener los siguientes elementos:
 1. Raspberry Pi 3³.
 2. Placa Navio2⁴.

²PyQt - www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/intro

³Raspberry - www.raspberrypi.org

⁴Navio2 - www.emlid.com/navio/

3. Joystick.
 4. Módulos de comunicación inalámbrica XBee⁵.
 5. Estructura de un VANT.
- Lenguaje de programación: Python 2.7.
 - Consideraciones acerca de la seguridad: El producto no implementa un modo de seguridad o *safety mode* por tanto es responsabilidad del usuario cualquier tipo de accidente que se produzca utilizando el producto.
 - Desarrollado bajo la Licencia Pública General de GNU.

2.5. Suposiciones y Dependencias

Con lo establecido hasta el momento no se suponen factores que puedan intervenir en modificaciones a un nivel profundo sobre el desarrollo del producto, en caso fortuito sobre cualquier tipo de inconveniente, se incorporarán de manera adicional al documento para solventar el problema sin afectar en su totalidad a los demás requisitos. El producto tiene una gran dependencia tecnológica con el hardware ya que de manera conjunta establecen un canal de comunicación y además, es el paso principal que condiciona el inicio de las funcionalidades del sistema, por esta razón es de suma importancia tener de antemano el vehículo armado y correctamente configurado.

Por distintos factores que intervienen en la gestación del proyecto, el desarrollo de las funcionalidades tendrá foco en la navegación de un UAV tipo cuadricóptero, descartando en primera medida opciones de vuelo orientadas a aeroplanos.

2.6. Requisitos Futuros

Se prevén los siguientes requisitos que pueden ser implementados en el producto.

- **Más acciones de vuelo:** se pretende desarrollar funcionalidades de navegación que equipen al vehículo con menos restricciones al momento de desplazarse en el aire, ya sean:
 - *Desplazamiento en forma circular con respecto a un punto (objetivo) como centro:* esta funcionalidad por lo general es útil al momento de hacer tomas cinematográficas o de algún tipo de video casero, proporcionando así una buena perspectiva del objetivo a analizar.
 - *Follow me:* en esta opción se designara un objetivo (por ejemplo una persona) y una vez ingresado al software el vehículo procederá a seguir este objetivo según parámetros preestablecidos con anterioridad como: altura, distancia al objeto, ubicación, etc.
- **Integración a más tipos de vehículos:** extensión a más tipos de vehículos que puedan ser comandados y guiados por la plataforma, como por ejemplo, aeroplanos, helicópteros, hexacópteros, tricópteros, etc.

⁵XBEE - www.xbee.cl/que-es-xbee/

- **Adquisición de imágenes:** En el caso que vehículo tenga incorporada una cámara la plataforma brindará opciones para poder visualizar las imágenes que se están capturando en tiempo real.

3. Requisitos Específicos

En esta sección se realiza una descripción detallada de cada uno de los requerimientos. Además de describirlos, en esta sección también se clasifican los mismos de acuerdo al módulo al cual pertenecen para facilitar su trazabilidad a través del desarrollo de la aplicación.

3.1. Interfaces Externas

3.1.1. Interfaces de usuario:

Número de requisito	R001
Nombre del requisito	Visualización de datos de vuelo y estado del vehículo
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema debe proporcionar la representación en tiempo real y numérica de los datos de vuelo, esto incluye, información proveniente de todos los sensores del vehículo y niveles de intensidad generados por los periféricos de entrada/salida, tales como joystick y señal de cobertura.
Prioridad del requisito	Alta/Essencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R002
Nombre del requisito	Representación gráfica en tiempo real y evolutiva de la información capturada.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema debe dar la opción de representar gráficamente y en forma evolutiva la información capturada por algún determinado periférico de entrada. Esto se debe representar mediante una ventana y utilizando la librería Vispy ⁶ .
Prioridad del requisito	Alta/Essencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R003
Nombre del requisito	Representación gráfica de las variables características para el guiado, navegación y control del vehículo.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema deberá ilustrar de manera gráfica y representativa los datos provenientes de los instrumentos de vuelo. Como el horizonte de artificial, indicador de rumbos, etc.
Prioridad del requisito	Alta/Essencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R004
Nombre del requisito	Manual de usuario.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Se deberá realizar un manual que especifique y ejemplifique las principales funcionalidades del sistema. Este manual será un medio por el cual los usuarios podrán aprender a utilizar el sistema, por lo que deberá ser realizado con este propósito.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional
Número de requisito	R005
Nombre del requisito	Inserción de comandos de vuelo
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema ofrecerá una lista de comandos que el usuario podrá elegir de manera secuencial y luego serán enviadas al vehículo para que sean procesadas. Estos comandos serán: ascender, descender y <i>hovering</i> . Además de incluirse sus respectivas características como velocidad, posición y tiempo de ejecución.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional
Número de requisito	R006
Nombre del requisito	Modos de vuelo
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	A modo de seguridad el sistema debe permitir el guiado de vehículo en modo manual
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional
Número de requisito	R007
Nombre del requisito	Representación gráfica del vehículo
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Como medida de referencia el sistema ilustrará un UAV representativo mediante un gráfico que simule las acciones que está realizando el vehículo en tiempo real.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional
Número de requisito	R008
Nombre del requisito	Calibración
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema debe informar al usuario si los sensores principales del vehículo se encuentran correctamente calibrados, en caso contrario se dará la opción de calibrarlos.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional
Número de requisito	R009
Nombre del requisito	Posicionamiento geográfico.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Mediante un mapa el sistema debe ubicar geográficamente utilizando el GNNS del UAV y representarlo con algún tipo de gráfico en dicha ubicación.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R010
Nombre del requisito	Implementación de un Log perteneciente a la plataforma
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Brindar un registro de todo tipo de inconvenientes, errores o precauciones que se presentan sobre el uso de las funcionalidades de la plataforma.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R011
Nombre del requisito	Implementación de un Log perteneciente a los sensores.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Brindar un log de todo tipo de inconvenientes, errores o precauciones que se presentan sobre el uso de los sensores instalados en el vehículo.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

3.1.2. Interfaces de hardware:

Número de requisito	R012
Nombre del requisito	Identificación y control del comando.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema deberá identificar el comando de tipo joystick conectado a la computadora y dar opciones de mapeo de las funciones de navegación a elección del usuario, siendo por defecto uno ya estipulado, utilizando la librería Pygame ⁷ .
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R013
Nombre del requisito	Gestión con el hardware de comunicación inalámbrica.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema deberá identificar el hardware pertinente a la comunicación inalámbrica y brindar las opciones para su correspondiente configuración de red.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

3.1.3. Interfaces de software:

Número de requisito	R014
Nombre del requisito	Integración de Dronekit
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Uso de la librería Drone-kit en Python para poder gestionar todo tipo de interacción con el VANT.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

3.1.4. Interfaces de comunicación:

Número de requisito	R015
Nombre del requisito	Comunicación inalámbrica
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema debe permitir el establecimiento de una comunicación inalámbrica con el vehículo según los módulos de comunicación existentes en ambos extremos, además de poder buscar, establecer o interrumpir la comunicación con el vehículo presente.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

3.2. Requisitos funcionales

Número de requisito	R016
Nombre del requisito	Estado de conexión
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Se deberá proveer una sentencia en el script principal encargada de consultar periódicamente el estado de conexión del vehículo o de acercarse fuera del rango de cobertura. En caso de perder la conexión se deberá invocar una función de salvataje.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R017
Nombre del requisito	Función de salvataje
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Implementar acciones de resguardo del vehículo en caso de perder la conexión o tener un bajo nivel de recepción de señal. Este script deberá consultar los niveles de energía restantes y en caso de obtener niveles moderados, se le enviarán al vehículo las acciones necesarias para que el mismo se estabilice y/o quede suspendido en el aire. En caso de no tener la energía necesaria se procederá a realizar un aterrizaje.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R018
Nombre del requisito	Script base para el chequeo del vehículo.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El sistema deberá comprobar los estados de cada sensor instalado en el vehículo, con esto el script debe corroborar la existencia de cada sensor y su correcta calibración, en caso contrario se deberá deshabilitar la opción de despegue del vehículo hasta que se solucione el problema. De manera complementaria se deberá informar el origen del mismo.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R019
Nombre del requisito	Estructura de clases para UAV.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Programar mediante el paradigma orientado a objetos las entidades necesarias para la gestión del vehículo como también conexión y control.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R020
Nombre del requisito	Clase sensor.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Cada sensor perteneciente al vehículo corresponde a una entidad lógica para la gestión del vehículo, por tanto, este deberá proveer información sobre el estado, dar la opción de calibrar y obtención de información del mismo mediante funcionalidades implementadas en una clase.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R021
Nombre del requisito	Clase conexión.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Debido a que la conexión entre la plataforma y el vehículo es un aspecto importante se deberá implementar una clase que gestione toda esta interacción.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R022
Nombre del requisito	Clase Comando.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	El joystick encargado de comandar la nave debe ser capaz de contener todas las funcionalidades que serán ejecutadas por el vehículo y además de corresponder dichas funciones sobre un mapeo personalizado. La clase comando deberá gestionar toda esta información.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R023
Nombre del requisito	Clase vehículo.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Esta clase contendrá todo tipo de información proveniente del vehículo físico, además de sensores que este contiene y se encargará de interpretar las acciones de navegación que han sido enviadas por la plataforma.
Prioridad del requisito	Alta/Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R024
Nombre del requisito	Modos de vuelo.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Proveer una funcionalidad dentro de la clase vehículo que permita guiar el vehículo de manera manual con el comando o mediante una lista de acciones. En caso de utilizar la segunda opción se permitirá además poder manejar el vehículo de manera manual para evitar algún tipo de accidente.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

3.3. Requisitos no funcionales

Número de requisito	R025
Nombre del requisito	Seguimiento del vehículo a través de un mapa.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Mediante un mapa ubicar la posición geográfica del vehículo con respecto a los datos obtenidos del sistema de posicionamiento global.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R026
Nombre del requisito	Conversión de unidades.
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	En aeromodelismo se utilizan una variada cantidad de unidades métricas para magnitudes físicas y la utilización de estos depende de cada usuario, es por esto, que se debe suministrar la opción de un conversor de unidades.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Número de requisito	R027
Nombre del requisito	Integración de GitHub
Tipo	Requisito Restricción
Descripción	Con fines de portabilidad el versionado del proyecto o producto final será gestionado mediante la plataforma GitHub.
Prioridad del requisito	Alta/ Esencial Media/Deseado Baja/Opcional

Apéndice B

Manual de usuario

Manual de Usuario - BEcopter

Release v1.0.0

Eric Bastida

mayo de 2019

Apéndice B

Ventajas	1
Introducción a BEcopter	2
Instalación	2
Primeros pasos	2
Pestaña de Inicio	3
Botonera	3
HUD (<i>Head Up Display</i>)	4
Misiones y Gráficos	7
Pestaña de Conexión	10
Pestaña de Comando	11
Mando	11
Botones	12
Ejes	12
Pestaña de Configuración	13

BEcopter es un software que ha sido desarrollado como proyecto final de la carrera Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional del litoral (*UNL*) provincia de Santa Fe, Argentina. El origen de este proyecto surge de la necesidad de integrantes del Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia sinc(*i*) en tener una plataforma que pueda ser el intermediario para controlar y navegar un vehículo aéreo no tripulado. En este manual explicaremos cómo utilizar *BEcopter* con el fin de poder controlar su vehículo y ejecutar maniobras aéreas que serán enviadas desde una PC a nuestro vehículo.

Ventajas

BEcopter proporciona las siguientes facilidades:

1. No es necesario un radio control, por lo general estos artefactos son caros y a la hora de poder controlar vehículos aéreos son obligatorios. Con *BEcopter* esto ya no es necesario y puede ser reemplazado por un simple joystick de computadora.
2. Es de código abierto bajo la *MIT license*, por lo tanto puede ser modificado a necesidad del usuario.¹
3. Su aplicación no está orientado simplemente al control de vehículos aéreos, sino que además permitirá la navegación tanto de vehículos acuáticos como: botes, submarinos y terrestres como los rovers.¹

¹Repositorio del proyecto <https://github.com/ERicBastida/BEcopter>

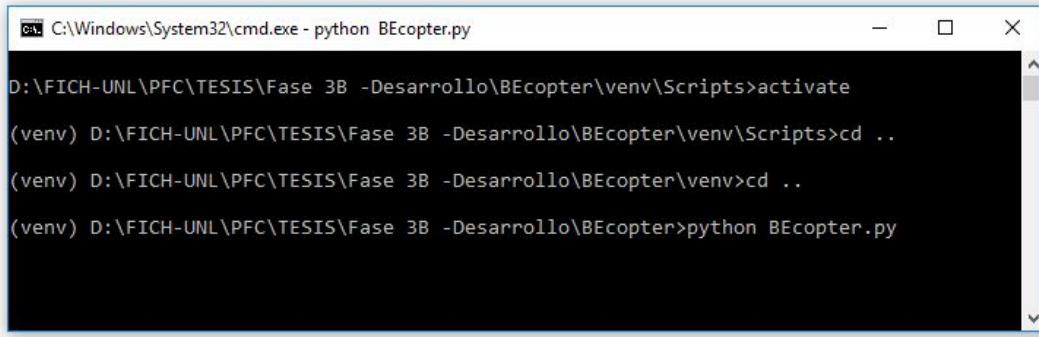
¹ Dicha característica será implementada en las próximas versiones.

Introducción a BEcopter

BEcopter es una plataforma para el guiado y navegación de vehículos aéreos no tripulados, en la cual en versiones posteriores se tendrá como fin abarcar más tipos de vehículos, ya sean aéreos o no. Este proyecto ha sido desarrollado con la ventaja de poder ser ejecutado en varias plataformas, por lo cual, puede correr en distintos tipos de sistemas operativos como Windows, Linux y MacOS. Se distribuye bajo la licencia del MIT, por lo tanto, es de código abierto y puedes realizar tus respectivas modificaciones si lo crees necesario; para realizar modificaciones debes ingresar al siguiente link en GitHub: <https://github.com/ERicBastida/BEcopter>.

Instalación

Para su respectiva instalación simplemente descargamos el proyecto desde [GitHub](#) y mediante los siguientes comandos podemos empezar a utilizar BEcopter



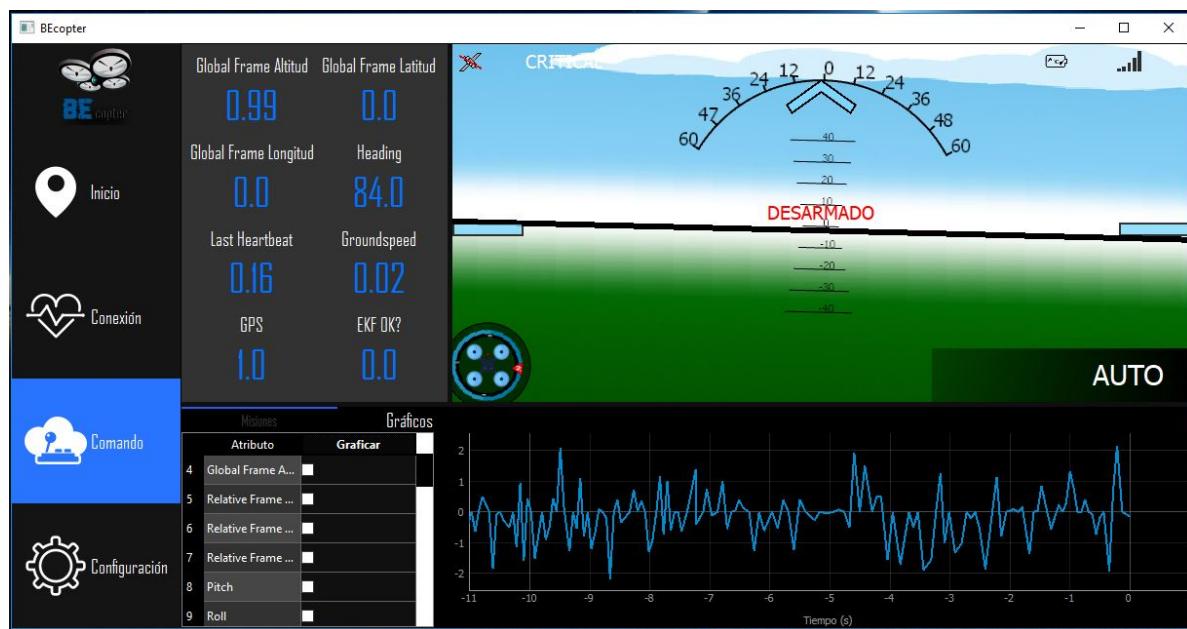
```
C:\Windows\System32\cmd.exe - python BEcopter.py
D:\FICH-UNL\PFC\TESIS\Fase 3B -Desarrollo\BEcopter\venv\Scripts>activate
(venv) D:\FICH-UNL\PFC\TESIS\Fase 3B -Desarrollo\BEcopter\venv\Scripts>cd ..
(venv) D:\FICH-UNL\PFC\TESIS\Fase 3B -Desarrollo\BEcopter\venv>cd ..
(venv) D:\FICH-UNL\PFC\TESIS\Fase 3B -Desarrollo\BEcopter>python BEcopter.py
```

Primeros pasos

Cuando iniciemos *BEcopter* por defecto nos mostrará la pestaña de ayuda, donde nos proporcionará información sobre el uso de BEcopter, en caso de necesitarla. En primera instancia vamos a tener habilitado dos pestañas que son la pestaña de *CONEXION* y la pestaña de *COMANDO*. Estas pestañas son de suma importancia ya que de estas dos depende el control del vehículo.

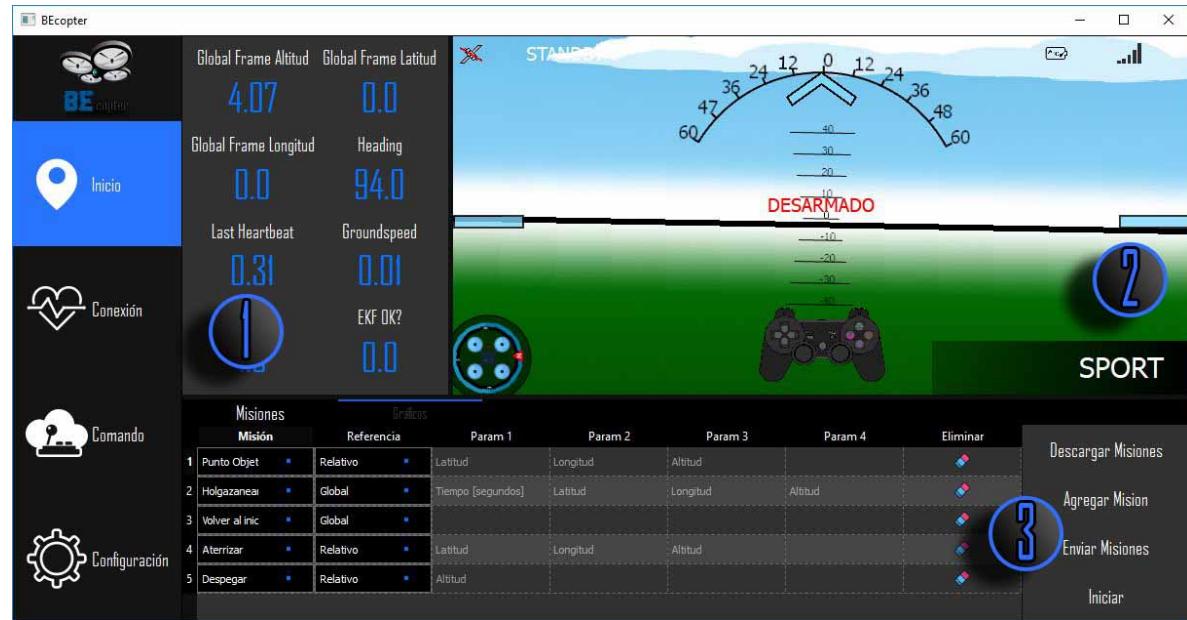
En la pestaña de conexión vamos a tener disponible dos campos en el cual debemos escribir el IP de nuestro equipo conectado a la red (debe ser la misma a la que está conectado el vehículo) y el puerto por defecto es 14450. Una vez ingresados pulsamos conectar y si todo está correcto *BEcopter* establecerá una conexión con el vehículo mostrando la información pertinente. En la pestaña *COMANDO* se deberá seleccionar el Joystick que será el encargado de controlar el vehículo y además este habilitará el envío de misiones.

Por último, tendremos a *BEcopter* corriendo y en condiciones de volar nuestro vehículo.



Pestaña de Inicio

La pestaña de Inicio de *BEcopter* es la responsable de mostrar la información proveniente del vehículo de varias maneras y además, es la encargada de enviar los comandos al vehículo para realizar las respectivas maniobras. Esta pestaña podemos subdividirla en regiones, de la siguiente manera



Botonera

La región n° 1 contiene un conjunto de botones, los cuales pueden ser pulsados y tener la opción de elegir el parámetro que se desea mostrar según la necesidad del piloto. Estos son una alternativa a la gráfica mostrada en la región 3.b

Gráficos pero con la diferencia que se pueden observar de manera instantánea los cambios de valores.



HUD (Head Up Display)



El HUD o según su respectiva traducción al español «Pantalla de cabeza arriba» es la encargada de mostrar gráficamente el estado actual del vehículo, con esto hacemos referencia que simula una vista en primera persona desde el vehículo con el fin de que el piloto vea el estado del mismo. Dentro del *HUD* podremos observar varios elementos gráficos que darán información en tiempo real de lo que esta sucediendo con nuestro vehículo. Estos elementos son:

GNSS

Este elemento gráfico mostrará el estado del GNSS, en caso de no ser aceptable la señal percibida mostrará un «satélite» con una línea cruzada, lo que indica que dicha señal no es aceptable. Para solucionar el problema, es aconsejable que ubique el vehículo en un espacio libre de obstáculos, como edificios, árboles, fuentes de electromagnetismo, etc.

Estado del vehículo

El estado del sistema de vehículo es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que si no se encuentra en condiciones no va a ser posible despegar o recibir misiones. Esta es una lista de los estados que puede tener el vehículo:

- UNINIT: El estado es desconocido o todavía no se ha iniciado.
- BOOT: El sistema se encuentra arrancando.
- CALIBRATING: Un proceso de calibración se encuentra ejecutando, por lo tanto, no es posible arrancar.
- STANDBY: Se encuentra en la espera de comandos.
- ACTIVE: El sistema está activo y podría estar en el aire ejecutando maniobras.
- CRITICAL: El sistema está en un modo de vuelo anormal. Sin embargo, todavía puede maniobrar.
- EMERGENCY: Aparece cuando se ha perdido el control sobre el vehículo. De esta manera, este podría estar realizando un aterrizaje forzoso.
- POWEROFF: Se está iniciando el proceso de apagado del sistema.

Batería

Mostrará información del nivel de carga de la batería, en caso de encontrarse conectado a una fuente de alimentación mostrará en su interior las iniciales de DC *Corriente Directa*.

Señal

El nivel de señal estará basado según el último *heartbeat* o pulso recibido en BEcopter, entre mayor sea duración del último pulso menor será la calidad de señal recibida.

Ángulo de banco

Este instrumento indica al usuario la inclinación en el *eje x* o *Roll* del vehículo, con la particularidad de que se encuentra limitado en el rango [-60°, 60°] y en caso de sobrepasar este límite se indicará con una flecha en color rojo a modo de precaución y estabilización.

Líneas de referencia

Estas líneas de referencia tienen el fin de mostrar en pantalla el pitch que está teniendo el vehículo en tiempo real, de la misma forma que el ángulo de banco, esta muestra un rango limitado de [-40°,40°].

Indicador de rumbos

O también conocido como giróscopos direccionales, es un instrumento que indica el rumbo que lleva la aeronave. Este instrumento se alinea en base a los polos magnéticos de la tierra según los datos obtenidos del magnetómetro dentro del vehículo. Por lo cual nos estaría indicando según *«la rosa de los vientos»* si nos estamos dirigiendo en dirección al Sur, Norte, Noreste, etc.

Icono de Joystick

Este icono representando un joystick, tiene la finalidad informar al piloto del vehículo que el modo de vuelo que tiene seleccionado el vehículo acepta comandos desde el Joystick, por lo tanto es posible controlar el vehículo en modo manual.

Modos

Dependiendo del objetivo del vehículo existen distintos tipos de vuelo se pueden aceptar, como, por ejemplo

Modo	Alt Ctr	Pos Ctrl	GNSS	Resumen
Acro	-	-		Mantiene la posición, sin auto nivelarse
Alt Hold	s	+		Mantiene la posición y auto-controla el Roll & Pitch
Auto	A	A	Y	Se ejecutan misiones pre-cargadas
AutoTune	s	A	Y	Procedimiento automatizado de inclinación y banco para mejorar el control en los circuitos.
Brake	s	A	Y	Hace que el vehículo se detenga inmediatamente
Circle	s	A	Y	Empieza a girar sobre la posición actual del vehículo
Drift	-	+	Y	Igual a Stabilize, pero controla el Yaw & Roll tal como si fuera un aeroplano
Loiter	s	s	Y	Mantiene la altitud y posición, usa GNSS para moverse
PosHold	s	+	Y	Igual a Loiter, pero el control del Roll & Pitch son manuales si se percibe comando del joystick.
Stabilize	-	-		Autonivela el Roll & Pitch.
Sport	s	s		De la misma manera que Alt Hold, pero mantiene fijo el roll y pitch cuando los mandos están centrados. Alt-hold, but holds pitch & roll when sticks centered
Throw	A	A	Y	Mantiene la posición luego de realizar un despegue.
Land	A	A	Y	Reduce su altitud en línea recta hasta conseguir aterrizar.
RTL	A	A	Y	Retorna al punto de despegue inicial.
Guided No GNSS	A	A		Es similar a Guided, exceptuando que no requiere el GNSS y únicamente acepta misiones de posición.
	A	A		Solo acepta misiones de posición.

Símbolo	Definición
-	Control Manual.
+	Control manual con limitación de altura.
s	Estabilización automática controlada.
A	Control Automático.
Y	GNSS necesario.

Misiones y Gráficos

En la parte inferior de la pestaña *Inicio* nos encontramos con dos pestañas más, la primera (denotada como sección 3a) contiene las opciones de gestión de misiones sobre el vehículo. En la sección 3b vamos a poder observar y seleccionar los datos de los que deseamos observar su respectiva evolución en el tiempo.

3.a Misiones

Misiones		Trámites				
Misión	Referencia	Param 1	Param 2	Param 3	Param 4	Eliminar
1 Punto Objetivo	Relativo	Latitud	Longitud	Altitud		
2 Holgazaneal	Global	Tiempo [Segundos]	Latitud	Longitud	Altitud	
3 Volver al inic	Global					
4 Aterrizar	Relativo	Latitud	Longitud	Altitud		
5 Despegar	Relativo	Altitud				

3a
[Descargar Misiones](#)
[Agregar Mision](#)
[Enviar Misiones](#)
[Iniciar](#)

BEcopter proporciona un conjunto de misiones que pueden ser enviadas al vehículo con el propósito de que sean ejecutadas de manera secuencial. Pero antes de describir las distintas opciones que tenemos, hay que tener en mente cierto conceptos tales como los son las *Coordenadas Globales* y *Coordenadas Relativas*: Al momento de asignar misiones al vehículo podemos observar que la mayoría depende de coordenadas para ser enviadas, por lo tanto hay que tener en cuenta que estas coordenadas pueden estar asociadas a un sistema de referencia

- **Global:** Sistema de georreferenciación [latitud, longitud, altura] que pueden ser proporcionadas por el GNSS.
- **Relativo:** El sistema de referencia tiene su origen en la ubicación de despegue del vehículo.

Dentro de las alternativas tenemos las siguientes opciones que podemos enviarles, que son:

- **Punto Objetivo:** Esta misión recibe las coordenadas de la nueva posición a la que debe ubicarse el vehículo (según el sistema de referencia establecido).
- **Suspenderse:** Dado un cierto punto de ubicación esta misión tiene como finalidad mantenerse en el aire por una cantidad de tiempo (en segundos) estipulada por el usuario.
- **Volver al inicio:** Antes de iniciar con las misiones el vehículo tomará como punto de partida la posición de despegue, por lo tanto cuando se ejecute esta misión el vehículo tratará de volver a dicha ubicación almacenada.
- **Aterrizar:** Para realizar esta acción es necesario establecer un punto de aterrizaje, el vehículo se dirigirá a dicha ubicación (más allá de la altura establecida) procederá a descender de manera suave hasta detectar que su respectiva altura no está teniendo cambios.
- **Despegar:** Cuando se ejecute esta misión, el vehículo ascenderá desde el suelo lentamente hasta llegar a la altura establecida por el usuario.

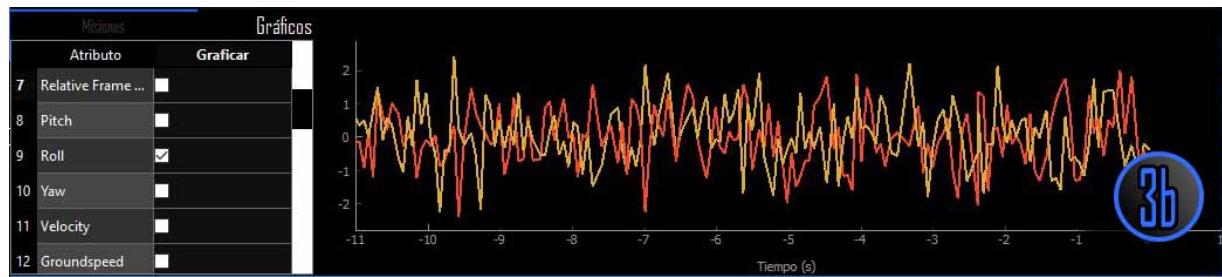
Atención: Las características de cada misión pueden ser modificadas en la pestaña Configuración, como por ejemplo, cantidad de misiones, velocidad de ascenso y descenso, etc.

Luego de indicar los tipos de acciones es momento de enviarlas al vehículo, para esto BEcopter brinda un conjunto de acciones que gestionan estas misiones. En la parte derecha de la lista de misiones podemos observar que contamos con un conjunto de botones de la siguiente manera:

- **Descargar Misiones:** Esta opción descarga las misiones que están almacenadas y no ejecutadas hasta el momento por el vehículo.
- **Agregar Misión:** Agrega una nueva fila en la lista de misiones de BEcopter.

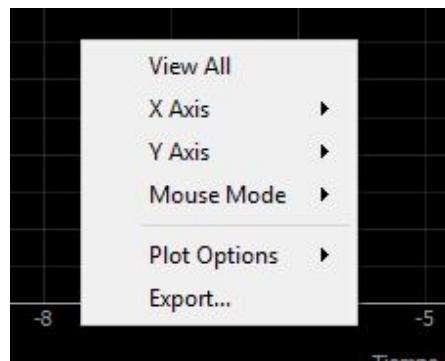
- **Enviar Misiones:** Valida y en caso de estar todo correcto, envía las misiones al vehículo para que sean almacenadas.
- **Iniciar:** Realiza un chequeo de que el vehículo y joystick estén en condiciones para realizar las misiones, y en caso afirmativo se procederá a informar el inicio de las mismas o no.

3.b Gráficos

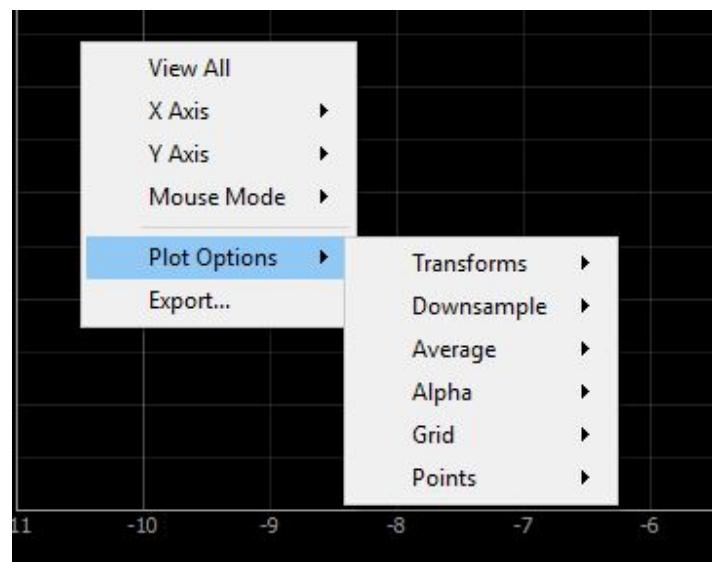


En este apartado podremos observar los valores de los sensores del vehículo como pueden ser Pitch, Roll, Velocidad, Altitud, etc. En la parte izquierda existe una lista con los atributos disponibles para graficar en la parte derecha; a continuación del nombre del atributo podemos ver un *checkbox*, el cual tiene como finalidad ser un valor de condición para poder ver los valores pertinentes en la gráfica. Es importante mencionar que por razones de apreciación, la gráfica solamente podrá contener 5 atributos graficados de manera simultánea, por lo tanto, una vez que hayamos seleccionado el 6to atributo automáticamente se procederá a eliminar el primer atributo graficado.

De manera complementaria *BEcopter* ofrece sobre los gráficos opciones que personalizan el comportamiento del mismo. Dentro de estas herramientas tenemos las siguientes opciones

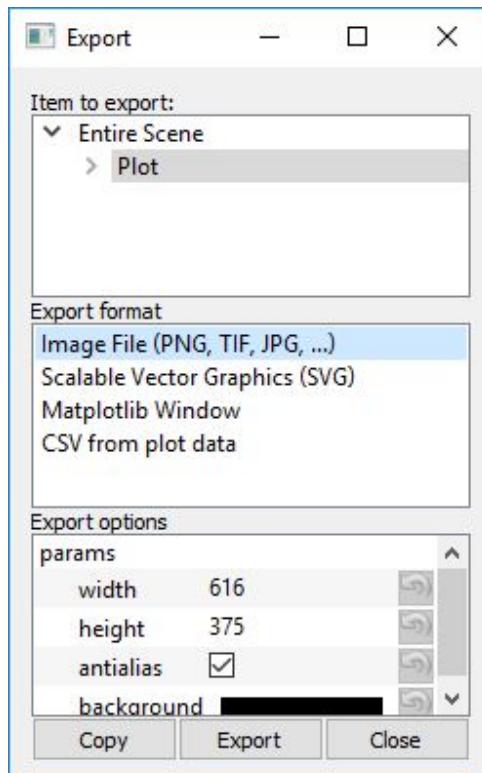


- **Ver todo:** Reestablece la vista para que se puedan observar todas las gráficas presentes.
- **Eje X:** Opciones sobre el eje x, como definir el intervalo dinámico o invertido.
- **Eje Y:** Opciones sobre el eje y, como definir el intervalo dinámico o invertido.
- **Opciones de ploteo:**



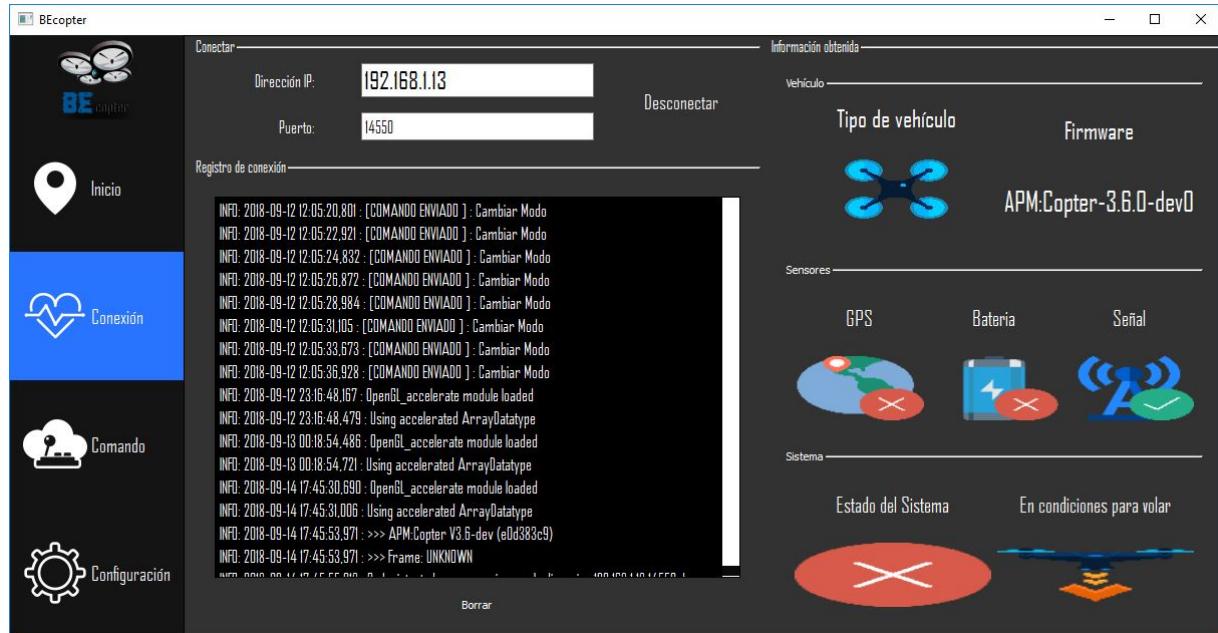
Esta opción contendrá varias funcionalidades que personalizan la estética de la gráfica como pueden ser: Alpha (Transparencia), Grid (Grilla), Points (Puntos), Average (Promediado), Downsample (Submuestreo). Por último y de manera complementaria podemos aplicar transformaciones a los datos mostrados, en caso de necesitar ver otro punto de vista de los datos como puede ser la *Transformada rápida de Fourier*, *Transformación Logarítmica de X* y la *Transformación Logarítmica de Y*.

- **Exportar datos:** Por último *BEcopter* ofrece la opción de poder exportar los datos graficados actualmente, dando las distintas alternativas de tipos de formato de guardado, como puede ser imágenes, formato SVG (*Gráfico vectorial escalable*), exportarlo a una ventana utilizando la interfaz gráfica de Matplotlib y por último, simplemente como CSV (Valores separados por coma).



Pestaña de Conexión

En esta pestaña como su nombre lo indica se brindan las opciones referentes a la conexión con el vehículo. Además, muestra información (una vez conectado) del estado del vehículo, como también los mensajes que se intercambian.



En la región de conectar, tenemos disponible dos campos. El primero es para ingresar el IP de red asignado a la máquina en la cual está corriendo *BEcopter*. Debemos prestar atención en que debemos estar conectados a la misma red a la que está conectado el vehículo. Una vez ingresado ese valor y dejando por defecto el puerto ya asignado (siempre y cuando estos valores sean los mismos que estén configurados en el vehículo) para más información se puede consultar el siguiente link de [Navio2](#)

En el apartado de *Registro de conexión* obtendremos toda la información referente a los mensajes que hemos enviado al vehículo y en contraparte con respecto al vehículo.

Advertencia: Por lo tanto, es de buena práctica utilizar dicha información en caso de que ocurriera algún tipo de error o inconsistencia.

Una vez conectados al vehículo en la región de *Información obtenida* se mostrarán datos tales como :

- **Tipo de vehículo:** Ya sea tricóptero, hexacóptero, cudricóptero, etc.
- **Firmware:** La información mostrada aquí, corresponderá a la versión del firmware instalado en el vehículo.

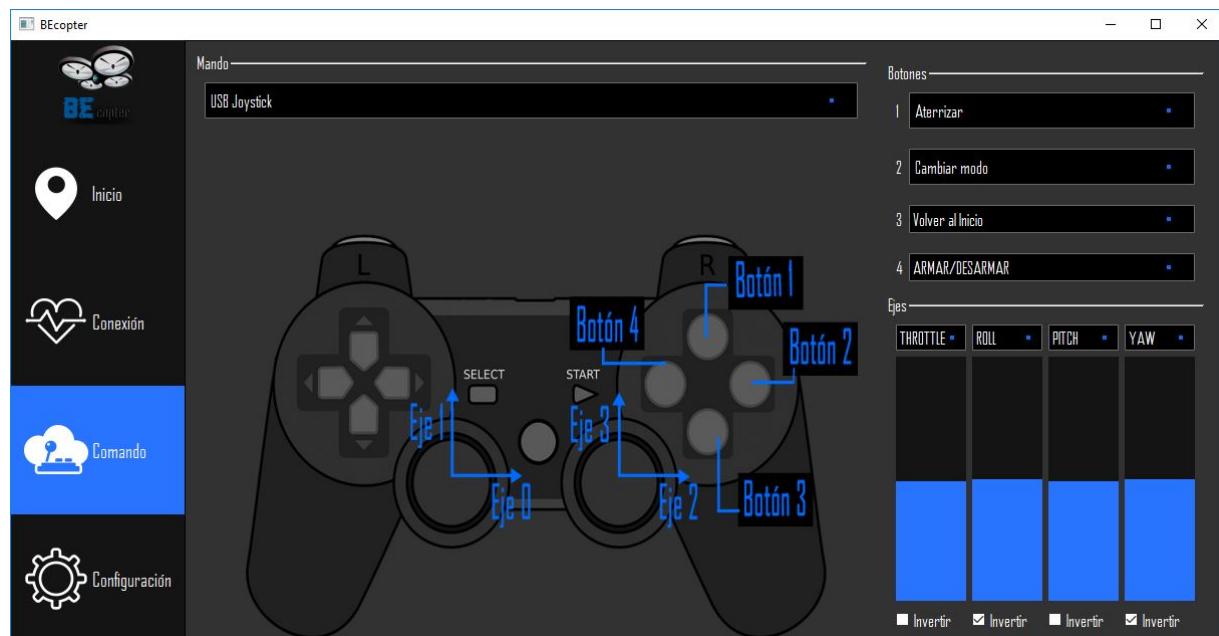
Atención: Corroborar que su vehículo se encuentre actualizado.

Antes de poder realizar un despegue es de suma importancia que el vehículo se encuentre en condiciones para realizarlo. Es por tal motivo, que antes de comenzar a iniciar con las misiones o un despegue se deberá controlar que todos los sensores como GNSS, batería, señal, posicionamiento estén correctamente en condiciones. En caso contrario el inicio de un despegue será simplemente rechazado.

En el apartado de *Sistema* tenemos dos iconos, el primero representa el resultado si el vehículo está bien posicionado para iniciar el vuelo, para obtener este valor se comprueba que el vehículo no se encuentre muy inclinado (ya sea verti-

cal o horizontalmente), que no esté en movimiento y los sensores calibrados, como brújula, giróscopo y acelerómetro. Luego, el siguiente ícono «es una traba de seguridad» con el fin de no incidir en un vuelo accidental, por lo tanto, una vez que el vehículo se encuentre en condiciones, es decir, todos los íconos muestren resultados favorables se tendrá que «ARMAR» el vehículo, para realizar esto se deberá enviar un comando mediante un joystick ordenando al vehículo que esté preparado para iniciar su vuelo. Este comando puede ser asignado al Joystick en la pestaña *COMANDO*.

Pestaña de Comando



La pestaña *COMANDO* es una de las primeras en estar habilitadas, ya que la selección de un joystick para el control del vehículo es de suma importancia para la navegación del mismo. Es por tal motivo que esta pestaña proporciona la opción de seleccionar un joystick que esté conectado al equipo en donde esté corriendo *BEcopter* y poder asignarle a una cierta cantidad de acciones predefinidas.

Mando

En esta sección podemos encontrar una lista con Joysticks reconocidos por *BEcopter*. En donde se podrá ver su respectiva configuración, en cada botón y *sticks* del joystick.

Advertencia: El gráfico del comando mostrado en pantalla puede no representar estrictamente la numeración de los botones en el joystick real.

Atención: Una manera de corroborar la correcta asignación de acciones es mediante la consola dentro de la pestaña *CONEXION*

Botones

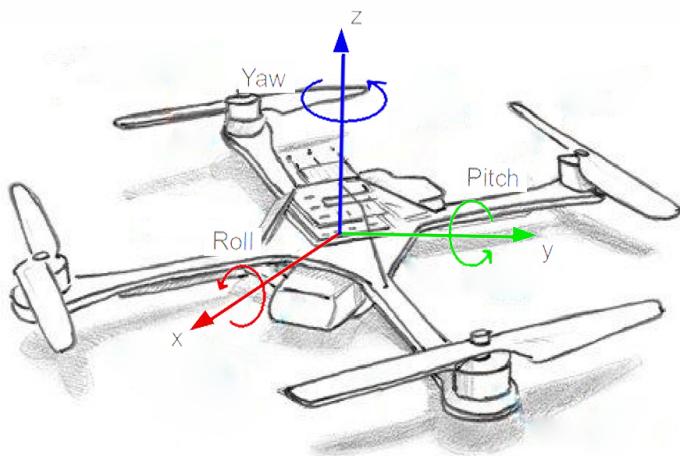
En este apartado se pueden asignar accesos rápidos a los botones, que pueden ser ejecutadas en tiempo real por el vehículo. Las opciones disponibles son:

- **Aterrizar:** Como se explicó en la pestaña de *Inicio* este comando le ordena al vehículo descender suavemente hasta no encontrar cambios en la altura del mismo.
- **Cambiar Modo:** En caso de necesitar cambiar el modo de un control manual o automático (entre otras opciones), esta opción es la que se debe seleccionar.
- **Volver al inicio:** En caso de necesitar que el vehículo regrese a la posición inicial de partida, por cierta circunstancia como por ejemplo: poca señal, poca batería, el vehículo no se encuentre visible al piloto, etc. Esta opción es la indicada.
- **Armar/Desarmar:** Como medida de seguridad el vehículo cuenta con la opción de «trabar o desatrabar» la habilitación para comenzar a volar (el objetivo de este comando es evitar despegues/vuelos accidentales) por lo tanto esta opción alterna entre el desarmado y armado del vehículo.

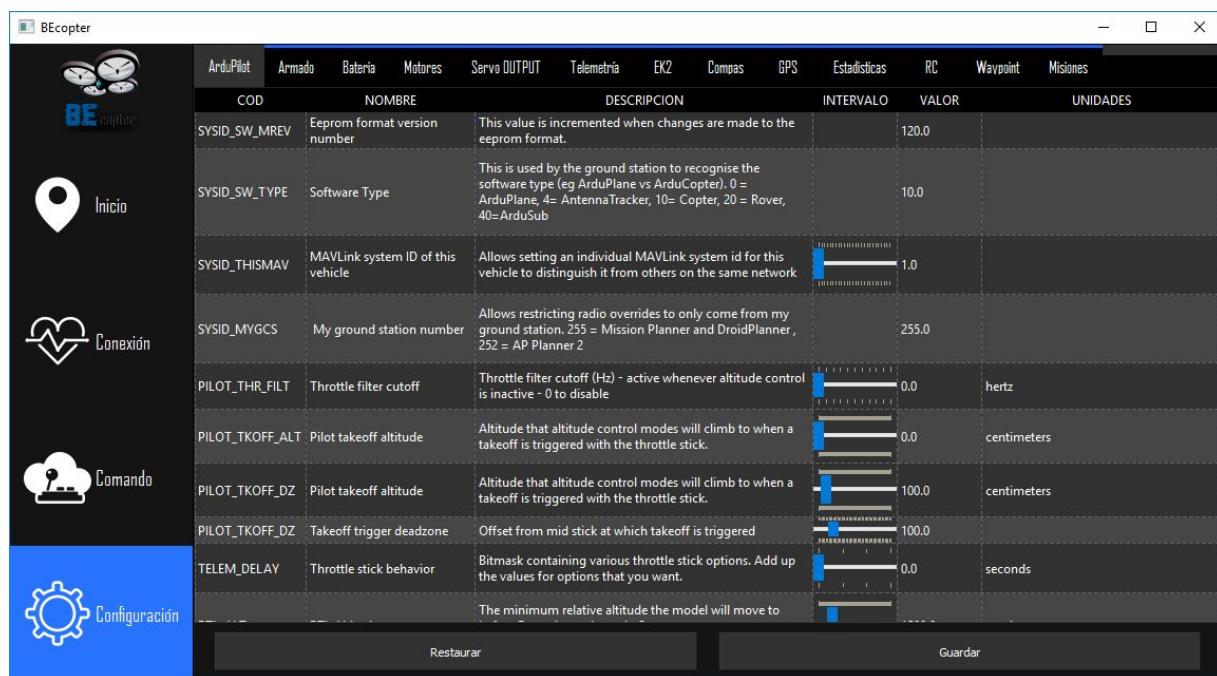
Ejes

Los ejes están asociados a los valores proporcionados por las palancas «analógicas» comúnmente llamadas. Estos valores serán reflejados en las barras ubicadas en la parte inferior izquierda de la pestaña de *COMANDO* con la opción de poder asignarles los siguientes movimientos

- **THROTRLE:** Potencia brindada a los motores.
- **ROLL:** Giro sobre el eje X del sistema de referencia.
- **PITCH:** Giro sobre el eje Y del sistema de referencia.
- **YAW:** Giro sobre el eje Z del sistema de referencia.
- **Invertir eje:** Por último y en la parte inferior de cada barra esta la opción de poder invertir el orden de los valores. Ya que existen casos en que los valores originales provenientes del periférico provienen en sentido contrario.



Pestaña de Configuración



Por último *BEcopter* proporciona la posibilidad de modificar los parámetros de configuración del Autopiloto los cuales determinan el comportamiento del vehículo, como puede ser velocidad de despegue, voltaje máximo enviado a los motores, condiciones de pre-armado como también información del uso del vehículo, entre otras cosas.

BEcopter ha organizado los parámetros del vehículo en secciones, para una mejor organización. Por lo tanto, tenemos las siguientes pestañas

- **Parámetros generales:** Se configuran aspectos generales del Autopiloto, como restricciones en velocidad, altitud, posición en cada modo.
- **Armado** En este apartado encontrarás los parámetros para el pre-armado.
- **Batería** Aquí se tendrán en cuenta los aspectos generales de la batería, como definir el tipo de batería instalada y sus propiedades.
- **Motores** El comportamiento de los motores al momento de realizar algún tipo de acción se puede definir en este apartado, como también sus respectivas restricciones.
- **Servo OUTPUT:** Además de poder configurar los motores, es posible administrar los pines extras en los cuales pueden estar conectados servo motores. Como por ejemplo la frecuencia de la señal emitida en PWM.
- **Telemetría:** Se definen todas las características del módulo de telemetría instalado en su vehículo.
- **EKF2:** *Extended Kalman Filter v2* o Filtro extendido de Kalman ([+info](#)), es un algoritmo de estimación de posición, velocidad y angulación del vehículo según los datos provenientes de los sensores como el giroscopio, acelerómetro, compás, GNSS, velocidad del viento y barómetro. Esto ayuda al Autopiloto tener un conocimiento del estado del vehículo, por lo tanto, al ser un algoritmo parametrizable el mismo puede configurarse en esta pestaña.
- **Brújula:** Se muestran todas las características del compás instalado en su vehículo.
- **GNSS:** Se muestran todas las características configurables del GNSS instalado en su vehículo.

- **Estadísticas:** Se muestra información de las horas de vuelo, cantidad de inicios del sistema y de reinicios del Autopiloto.
- **Radio Control:** Se muestran todas las características configurables del RC instalado en su vehículo. Como la restricción de sus correspondientes canales (Yaw, Pitch, Roll y Throttle).
- **WayPoints:** Cuando se realicen misiones, el vehículo se debe mover de un punto a otro a una cierta velocidad, como también puede acelerar, entre otras cosas. Aquí se podrá configurar dicho comportamiento.
- **Misiones:** En esta pestaña dedicada a las misiones se tendrá información sobre el total de misiones que se pueden cargar y el comportamiento del vehículo al momento de cambiar entre control manual y automático.

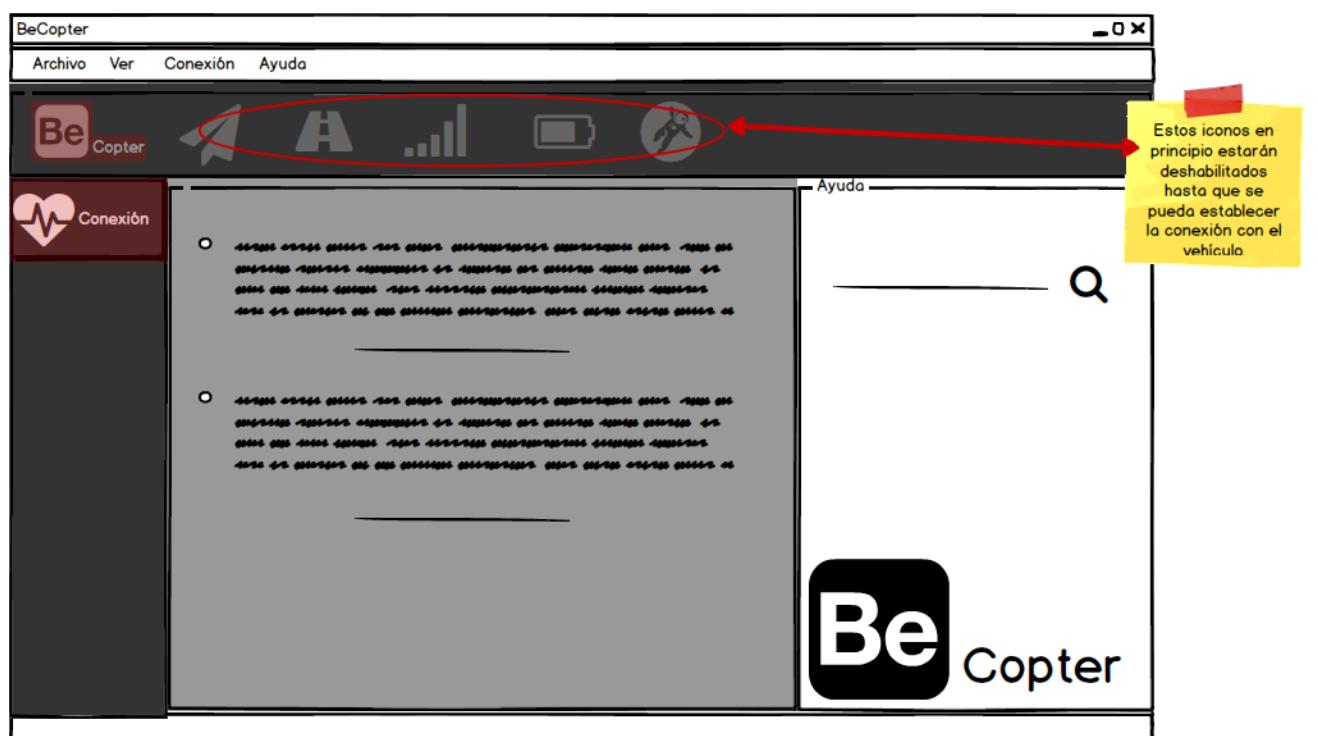
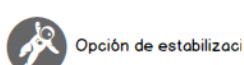
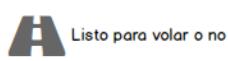
Advertencia: La manipulación de estos valores queda sumamente bajo la responsabilidad del usuario. En caso de necesitar información extra puede consultar la siguiente enlace de [MAVLink](#) que es el protocolo que se utiliza para la comunicación entre el vehículo y BEcopter.

Apéndice C

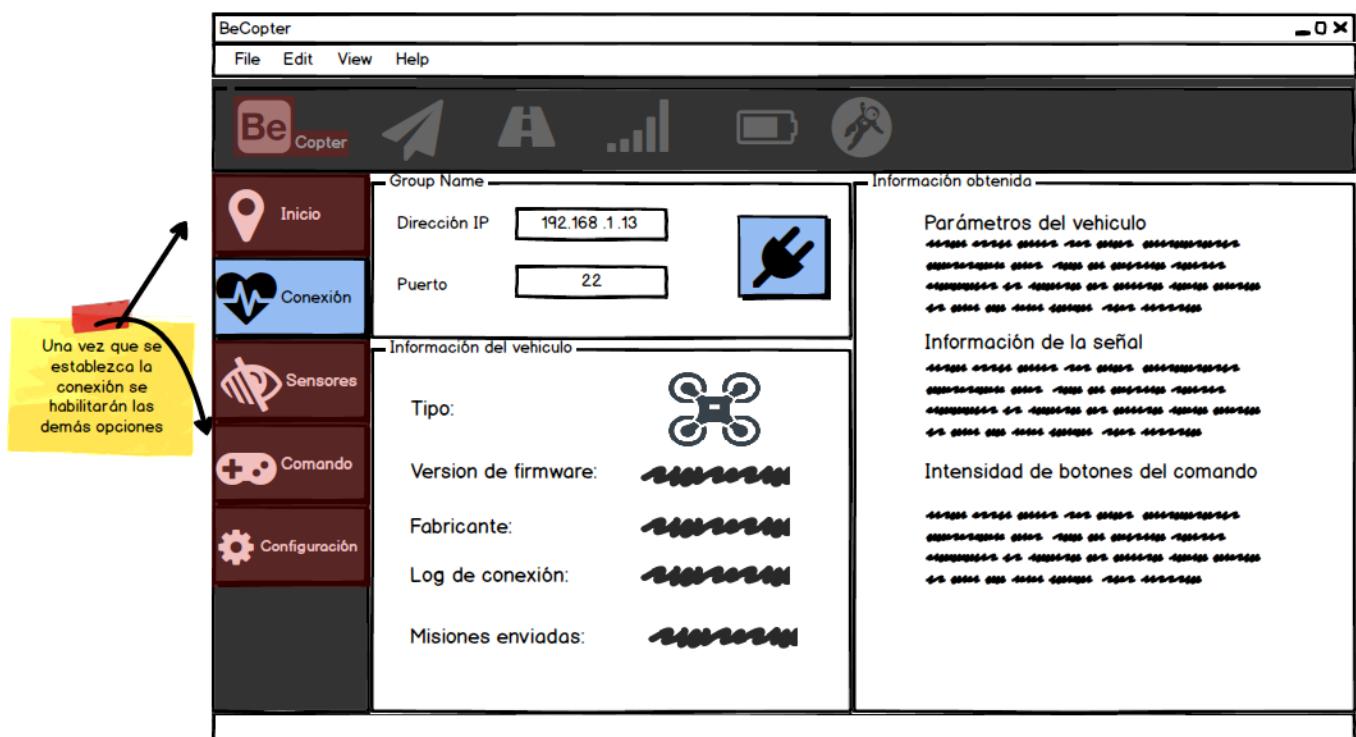
Mockups de la interfaz gráfica del proyecto

Main

Icono | Info

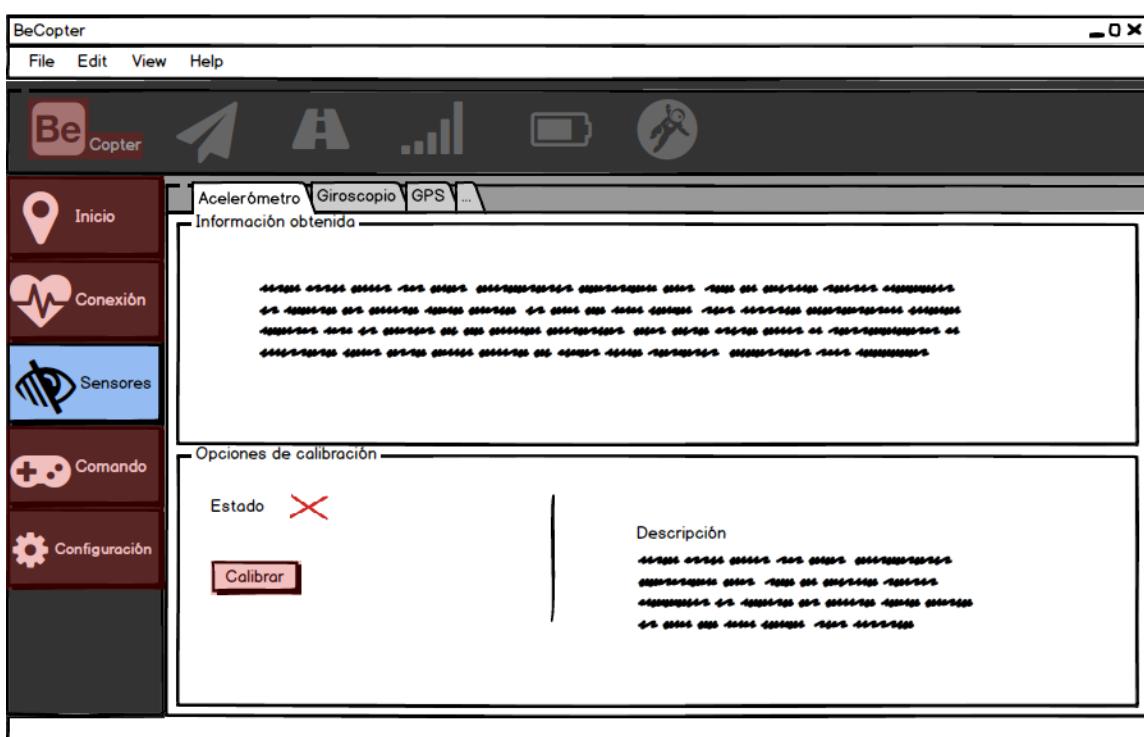






Sensores

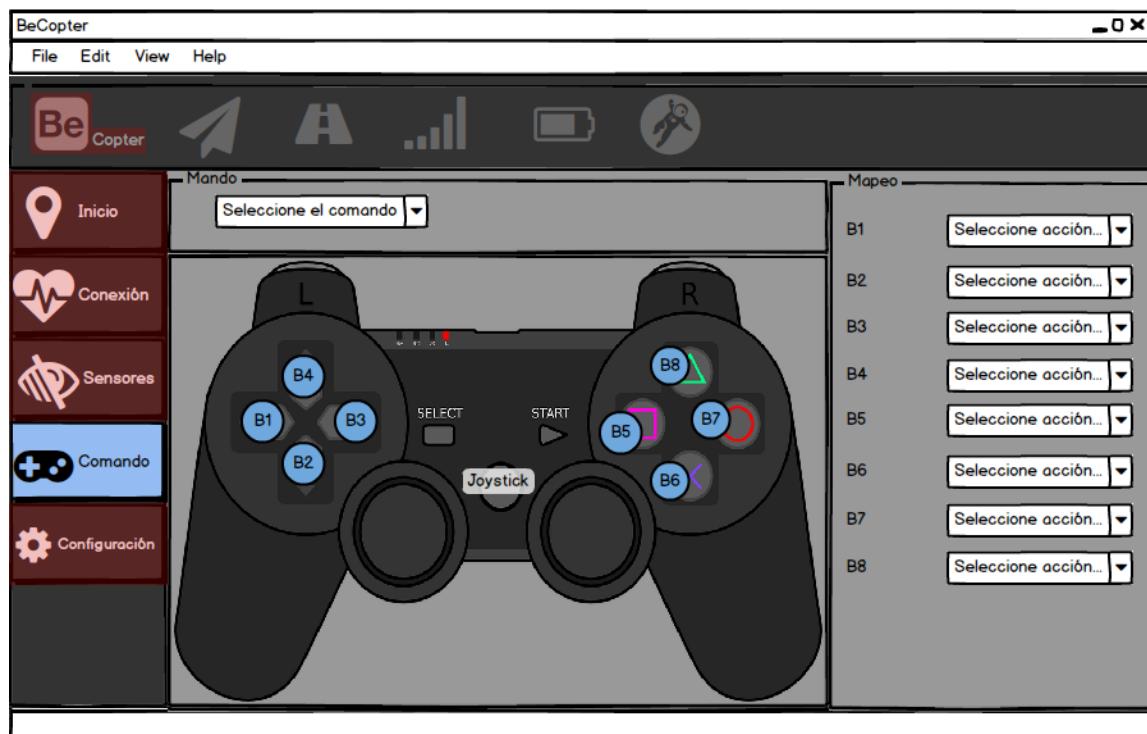
4 / 8



Apéndice C - Página 4

Comando

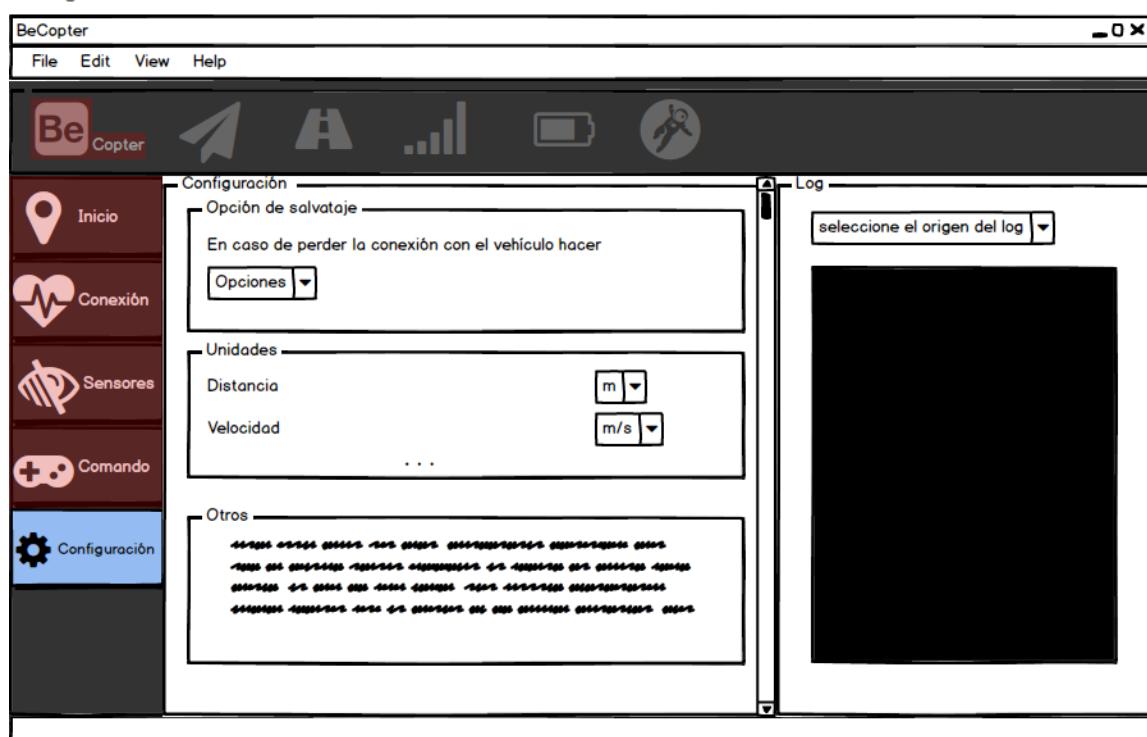
5 / 8



Apéndice C - Página 5

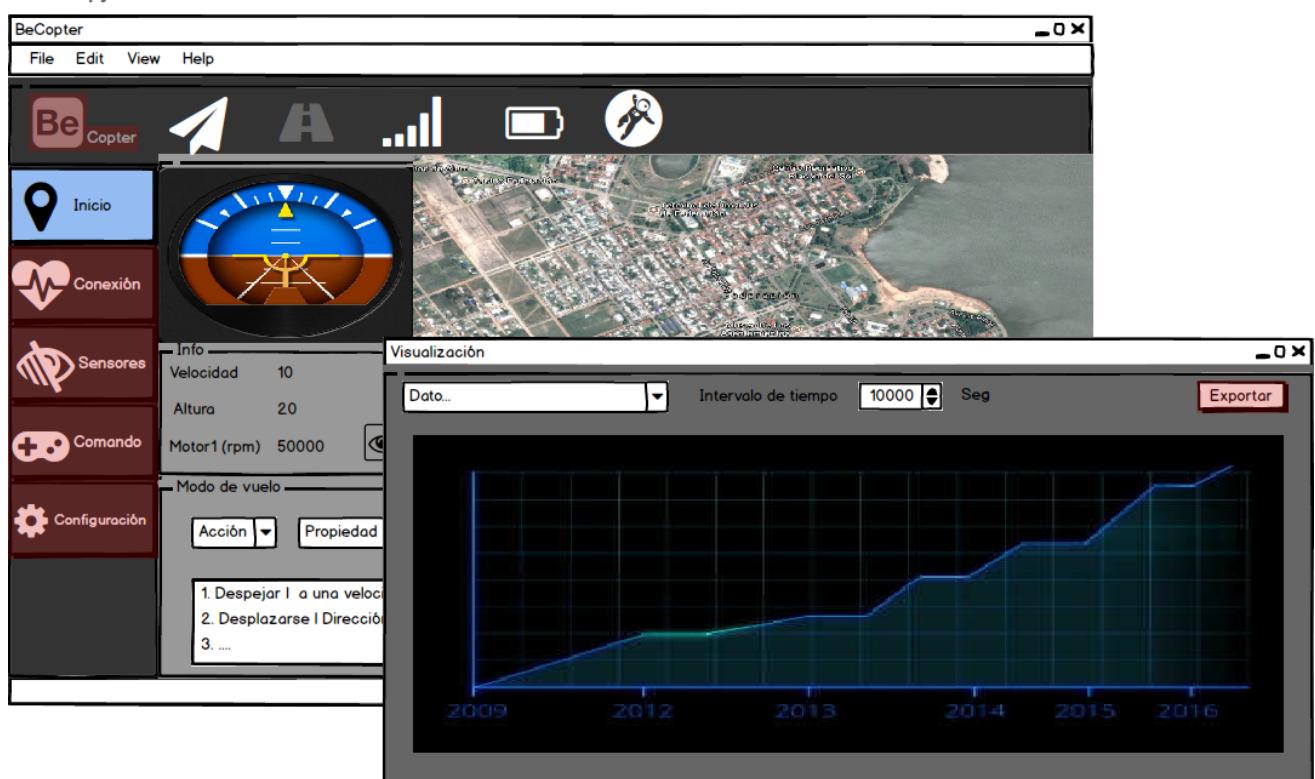
Configuración

6 / 8



Apéndice C - Página 6

Inicio copy





Apéndice C - Página 8

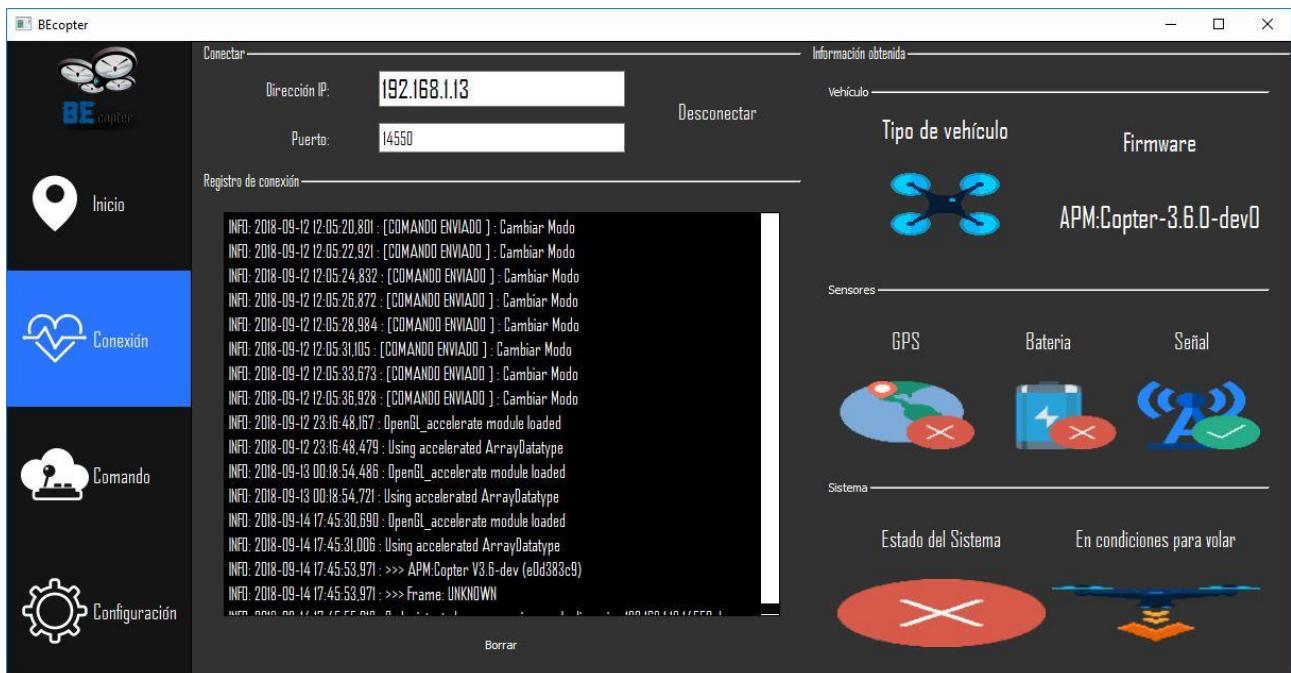
Apéndice D

Interfaz Gráfica del Usuario (GUI)

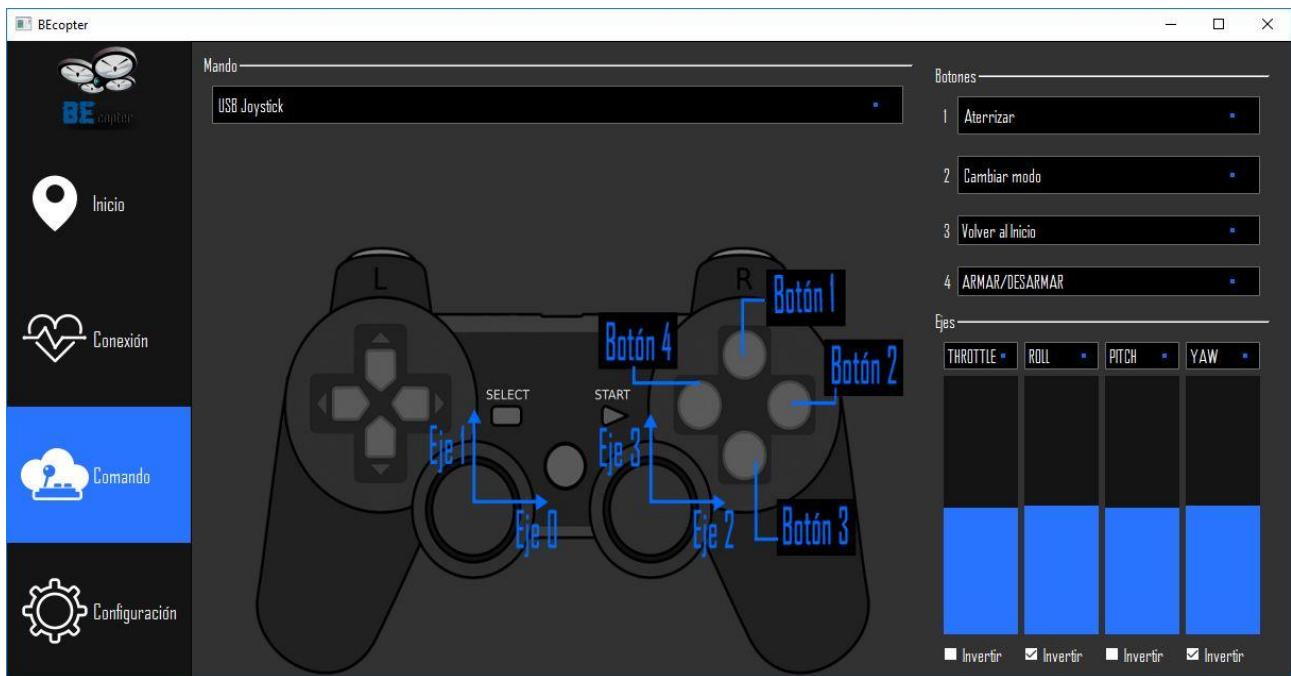
Pestaña configuración (Gestión de parámetros)

COD	NOMBRE	DESCRIPCION	INTERVALO	VALOR	UNIDADES
SYSID_SW_MREV	Eeprom format version number	This value is incremented when changes are made to the eeprom format.		120.0	
SYSID_SW_TYPE	Software Type	This is used by the ground station to recognise the software type (eg ArduPlane vs ArduCopter). 0 = ArduPlane, 4= AntennaTracker, 10= Copter, 20 = Rover, 40=ArduSub		10.0	
SYSID_THISMAV	MAVLink system ID of this vehicle	Allows setting an individual MAVLink system id for this vehicle to distinguish it from others on the same network		1.0	
SYSID_MYGCS	My ground station number	Allows restricting radio overrides to only come from my ground station. 255 = Mission Planner and DroidPlanner , 252 = AP Planner 2		255.0	
PILOT_THR_FILTER	Throttle filter cutoff	Throttle filter cutoff (Hz) - active whenever altitude control is inactive - 0 to disable		0.0	hertz
PILOT_TKOFF_ALT	Pilot takeoff altitude	Altitude that altitude control modes will climb to when a takeoff is triggered with the throttle stick.		0.0	centimeters
PILOT_TKOFF_DZ	Pilot takeoff altitude	Altitude that altitude control modes will climb to when a takeoff is triggered with the throttle stick.		100.0	centimeters
PILOT_TKOFF_DZ	Takeoff trigger deadzone	Offset from mid stick at which takeoff is triggered		100.0	
TELEM_DELAY	Throttle stick behavior	Bitmask containing various throttle stick options. Add up the values for options that you want.		0.0	seconds
		The minimum relative altitude the model will move to			

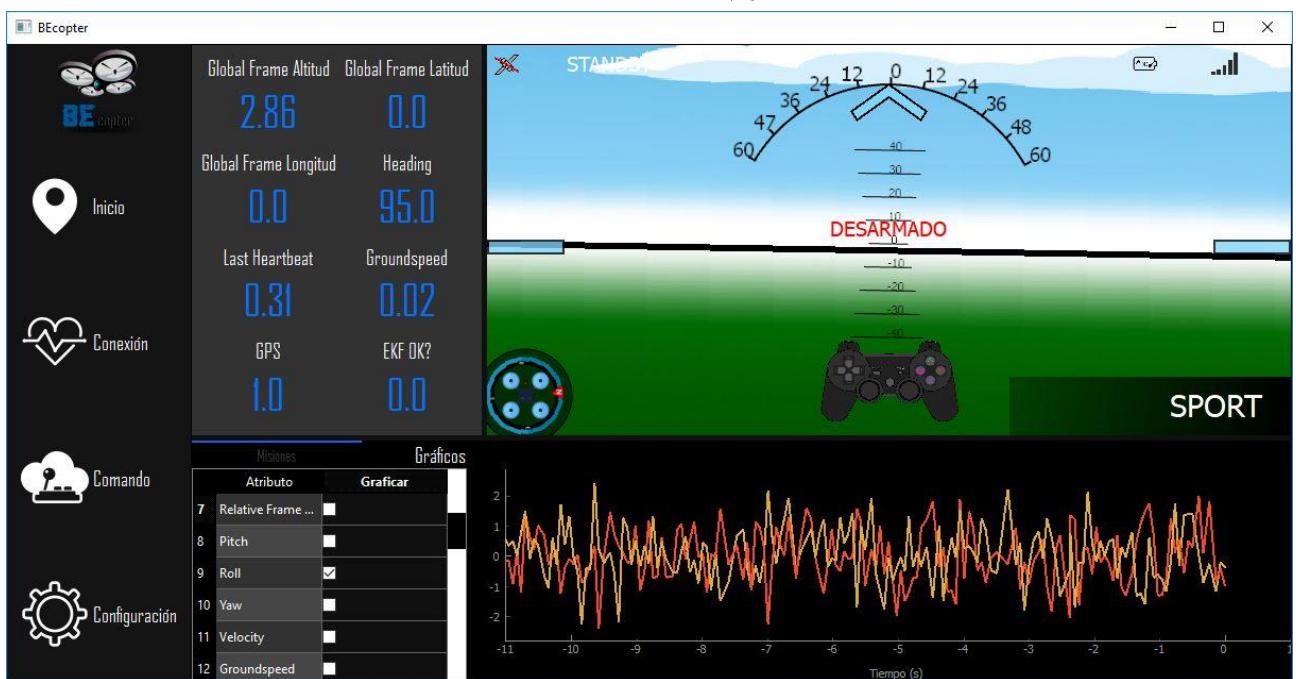
Pestaña conexión (Información y gestión de conexión al vehículo)



Pestaña comando (Selección y mapeo de funcionalidades)



Pestaña inicial (Visualización de datos y gestión de misiones)



Apéndice E

Diagrama de clases inicial del Proyecto

El presente documento puede ser consultado en el repositorio GitHub del proyecto¹.

¹ Acceso al material online: <https://github.com/ERicBastida/BEcopter-Informe-Final/blob/master/Imagenes/ClassDiagram.png>

Diagrama de clases BEcopter

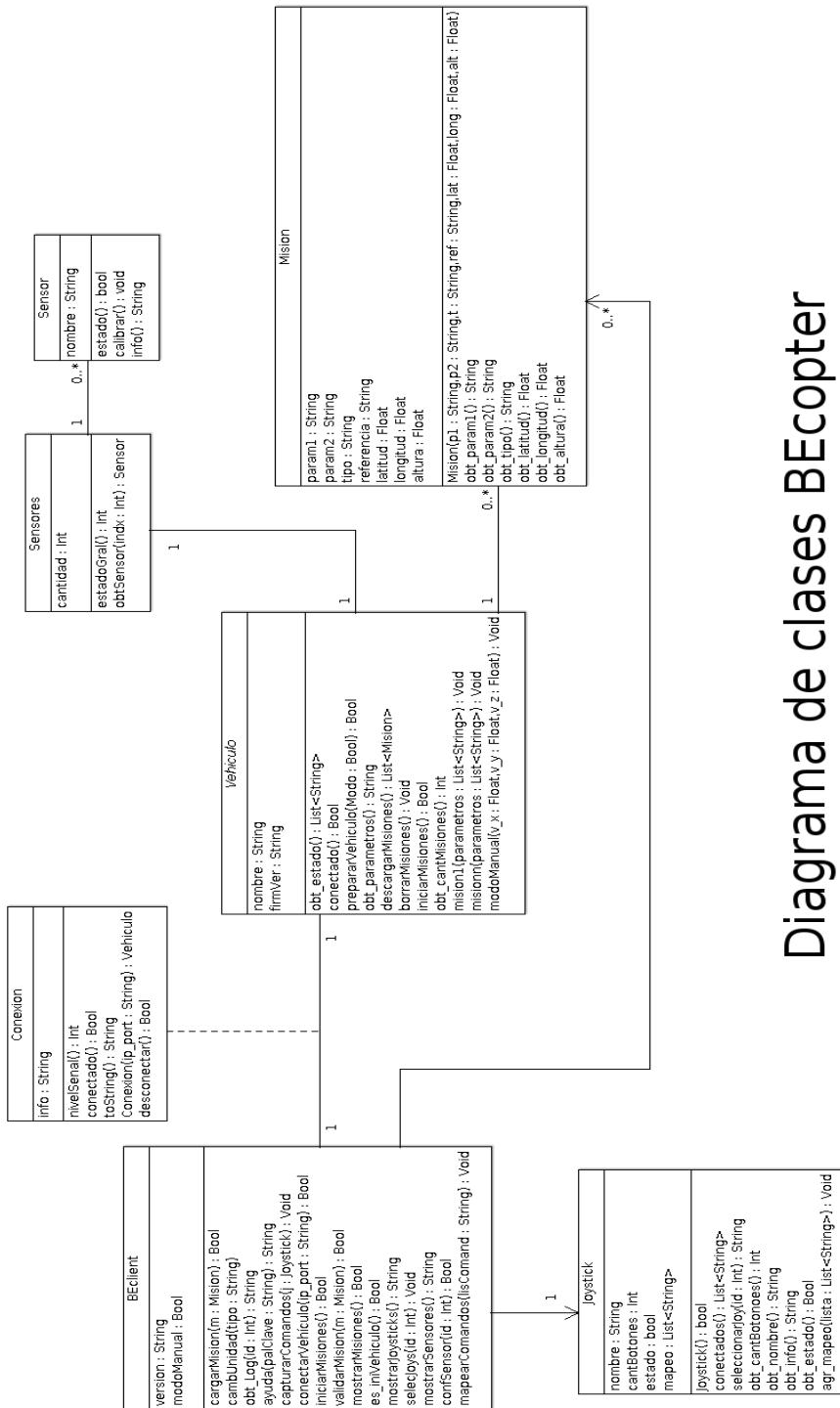


Figura E.1: Diagrama de clases inicial de BEcopter.

Apéndice F

Diagrama de clases final del Proyecto

El presente documento puede ser consultado en el repositorio GitHub del proyecto¹.

¹ Acceso al material online: https://github.com/ERicBastida/BEcopter-Informe-Final/blob/master/Imagenes/DC_BEcopter.png

Apéndice G

Anteproyecto



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

PROPUESTA DE PROYECTO FINAL DE CARRERA
INGENIERÍA INFORMÁTICA

**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA EL
GUIADO Y NAVEGACIÓN DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO:
INSTRUMENTACIÓN Y VUELO DE UN CUADRICÓPTERO**

Alumno: Bastida Eric

Director: Dra. Marina Murillo

Co-Director: Ing. Nahuel Deniz

Asesor temático: Ing. Guido Sánchez

Santa Fe, Agosto de 2017

Índice

Resumen	2
Justificación	3
Objetivos	5
Alcance	5
Metodología	7
Plan de tareas y actividades	10
Cronograma	11
Informes de avance	12
Riesgos	13
Recursos necesarios y disponibles	15
Presupuesto	15
Bibliografía	17

Resumen

Últimamente se ha visto que el mercado de los vehículos aéreos no tripulados (UAVs) o mejor conocidos como *drones* se está expandiendo a usos cotidianos en la sociedad, algunos ejemplos pueden ser como: misiones de búsqueda y rescate, inspección de líneas eléctricas, actividades agrícolas, recolección de imágenes, seguridad, lucha contra incendios forestales, entre otros. Sin embargo, en la actualidad hay pocos softwares que permiten implementar algoritmos e ideas sobre vehículos de estas características. Para solventar este problema, en este proyecto se propone la instrumentación de un cuadricóptero, considerando cada etapa del armado del mismo: desde el ensamblado hasta la prueba de vuelo. Luego, para evaluar el comportamiento de este vehículo, se desarrollará una plataforma que provea las funcionalidades a más alto nivel con el propósito de poder implementar sus correspondientes acciones de una manera mucho más fácil para el usuario común. Además, el software tendrá la característica de tener el código fuente para su libre modificación, es decir, *open source*.

Palabras clave - UAVs, drone, cuadricoptero, plataforma, open source.

Justificación

Una de las áreas de la aviación que ha experimentado un rápido crecimiento es aquella relacionada con los vehículos aéreos no tripulados (UAVs). Esta clase de vehículos pueden ser operados de forma remota o totalmente autónoma [4,5], presentan reducidos costos de operación y además no ponen en riesgo al operador. En los últimos años han ganado gran interés debido a su utilización en misiones de búsqueda y rescate [6], inspección de líneas eléctricas [7], actividades agrícolas [8], recolección de imágenes [9], seguridad [10], lucha contra incendios forestales [10, 11], entre otros.

Los UAVs pueden implementarse a través de los dos tipos de vehículos aéreos disponibles: aviones o multirotores (dentro de este último grupo se encuentran los cuadricópteros). Esto hace que los UAVs resultantes presenten características dinámicas y prestaciones (autonomía, maniobrabilidad, capacidad de carga, etc.) muy definidas y diferentes. Los aviones son capaces de recorrer grandes distancias empleando poca energía, gracias a la sustentación provista por las alas, de modo que el UAV resultante tiene una gran autonomía. Sin embargo, las maniobras necesarias para relevar la información son muy complicadas o requieren de sistemas de control avanzados. Por otro lado, los cuadricópteros se caracterizan por su maniobrabilidad y su capacidad de vuelo estacionario (*hovering*), lo que los hace particularmente aptos para la recolección de información en un punto determinado.

Actualmente en el mercado nacional no se han reportado empresas que se dediquen al desarrollo de UAVs, siendo los mismos importados, tanto su hardware como su software. Por otro lado, los UAVs disponibles no son open source, lo cual implica que la adaptación de los mismos a las necesidades de clientes y/o empresas se ve dificultada. Desde el punto de vista académico-científico, la posibilidad de implementar algoritmos propios en este tipo de vehículos comerciales es prácticamente nula. Si bien existen empresas que se dedican al desarrollo de UAVs *open source*, como lo es la empresa española *Erle Robotics*¹, los costos de adquisición de dichos vehículos son bastante elevados.

De lo expuesto anteriormente se desprende la necesidad de contar con una plataforma de desarrollo para UAVs. Una plataforma para este tipo de vehículos, es un sistema que sirve como base para hacer funcionar los módulos de hardware o de software. En lo que concierne al hardware hacemos referencia a los componentes electrónicos del UAVs como pueden ser:

- Motores.
- Sensores como acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, etc.
- Periféricos de entrada y/o salida tales como tarjeta SD, puertos USB, entre otros.

Para poder obtener información de cada componente y gestionar sus interacciones es necesario que un software administre en un segundo plano estas tareas, y que de forma sencilla proporcione al usuario funcionalidades para manipular estos componentes electrónicos, con el propósito de realizar acciones de navegación sobre el vehículo, como pueden ser:

- Despegar (Take off).

¹ <http://erlerobotics.com/>

- Mantenerse suspendido (hovering).
- Desplazarse.

Con el objetivo de solventar las deficiencias presentes en proyectos del mercado, tales como código privativo y escasa visualización de datos en forma evolutiva, se propone realizar el proyecto *open source* e implementar un módulo de visualización de datos a través del tiempo, este tiene el propósito de monitorear y controlar las variables de estado y controles del vehículo.

De esta forma, la realización del PFC propuesto será de gran utilidad para el desarrollo de cualquier otro tipo de proyecto que involucre vehículos autónomos, ya que facilitará la tarea del operador para que el mismo enfoque su atención en sus propios objetivos.

Para la realización del PFC, se tendrá a disposición el equipamiento e instalaciones del Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional (*sinc(i)*), donde desempeñan sus actividades de investigación los directores propuestos. El *sinc(i)* fue creado en 2004 por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), siendo reconocido como unidad ejecutora de doble dependencia UNL-CONICET en 2014. Las tareas de investigación en el *sinc(i)* tienen como objetivo desarrollar nuevos algoritmos para el aprendizaje automático, procesamiento de señales, modelado y análisis de sistemas complejos, proporcionando tecnologías innovadoras para el avance de la salud, la agricultura de precisión, la bioinformática, la energía, los sistemas autónomos e interfaces hombre-máquina. El *sinc(i)* posee la infraestructura necesaria para el correcto desempeño del PFC propuesto, a saber: espacio físico, equipamiento informático, laboratorio de electrónica, software, códigos y algoritmos propios. Recientemente ha adquirido computadoras modelo Raspberry Pi^{2,3} que operan en conjunto con placas Navio2^{4,5}, las cuales contienen GPS, doble IMU (unidad de medición inercial), giróscopo y barómetro, siendo de aplicación específica para navegación de vehículos autónomos. Además, cuenta con un kit de GPS con soporte de RTK (los cuales logran precisión centimétrica) y con modelos a escala de un automóvil tipo *crawler* y de un cuadricóptero. Asimismo, posee un centro de prototipado rápido que permite el desarrollo e implementación de sistemas embebidos a medida.

El desarrollo de este Proyecto Final de Carrera (PFC) impactará positivamente tanto en la industria nacional como en el ámbito académico, científico y tecnológico. En primer lugar, el alumno adquirirá el *know-how* (experiencia, conocimiento y habilidad) en el manejo de sistemas embebidos para el desarrollo de plataformas *open source* para UAVs. Además, impulsará el salto tecnológico no sólo por el desarrollo de UAVs a nivel local con fines de entretenimiento, sino que también permitirá trasladar el conocimiento adquirido a la obtención de UAVs con fines comerciales, económicos y/o sociales, entre otros, contribuyendo fuertemente al desarrollo de la industria argentina. Desde el punto de vista personal, la realización del PFC propuesto aumentará el activo de conocimientos complementarios obtenidos en la carrera Ingeniería en Informática, ya que el mismo involucra temas relacionados como redes y comunicación de datos, sistemas embebidos y

² Computadora reducida en tamaño y de bajo coste.

³ <https://www.raspberrypi.org/>

⁴ Placa electrónica con un conjunto de sensores destinados para el control de navegación.

⁵ <https://emlid.com/introducing-navio2/>

electrónica digital. Asimismo, contribuirá en la formación práctica y experimental, lo cual, en definitiva, es fundamental para el crecimiento de un profesional en este ámbito.

Objetivos

- Objetivo General

- ❑ Instrumentar el cuadricóptero con la Navio2 y la Raspberry Pi.
 - ❑ Diseñar e implementar una plataforma de desarrollo para UAVs.

- Objetivos Específicos

- ❑ Desarrollar un módulo que permita la comunicación inalámbrica entre el cuadricóptero y una PC para procesar la información adquirida.
 - ❑ Desarrollar un módulo que permita la adquisición de datos relevantes como ser posición, velocidad, aceleración y actitud.
 - ❑ Desarrollar un módulo de visualización de datos en tiempo real, el cual sea capaz de mostrar los datos provenientes de sensores que poseen alta frecuencia de muestreo.
 - ❑ Evaluar el funcionamiento de la plataforma desarrollada mediante la utilización de un modelo a escala de un cuadricóptero.

Alcance

El PFC propuesto consiste en desarrollar una plataforma para UAVs, que permita el control manual del mismo, además que permita la visualización de forma gráfica de los datos que fueron adquiridos de sus correspondientes sensores. Una vez desarrollada dicha plataforma será evaluada con un UAV tipo cuadricóptero.

El desarrollo del proyecto estará restringido por las siguientes características:

1. La plataforma dispondrá del libre acceso al código fuente, es decir, de tipo *Open Source*.
2. Estará orientado al uso de computadoras de escritorio.
3. El lenguaje de codificación utilizado será Python.
4. Dispondrá de una interfaz gráfica.
5. Las opciones de navegación que tendrá el cuadrioptero serán:
 - Ascenso.
 - Descenso.
 - Hovering.

En lo que concierne a las funcionalidades de la plataforma serán limitadas por los siguientes módulos:

Módulo de operación manual

El módulo perteneciente al control en modo manual será el encargado de gestionar los comandos que serán enviados desde un joystick conectado a la pc a nuestro cuadricóptero. Estos comandos determinarán los movimientos del vehículo según la restricción 5.

Módulo de comunicación inalámbrica

Corresponde a la comunicación entre el ordenador y el cuadricóptero. Se desarrollará con tecnología inalámbrica, considerando un radio de cobertura según los dispositivos disponibles a nuestro alcance. Además, gestionará el tipo de comunicación entre el receptor y emisor, con eso hacemos referencia al protocolo de comunicación, velocidad de transferencia, entre otros. Por el mismo medio se transmitirán los datos obtenidos por los sensores como también las maniobras establecidas por el usuario de forma manual.

Módulo de gráfico de datos

Este módulo permitirá la selección del sensor de nuestro interés, y mostrará de forma gráfica cómo evolucionan los datos que se están obteniendo de los mismos en tiempo real. Debido a que la mayoría de los sensores utilizados emplean una frecuencia de muestreo alta, es necesario utilizar librerías gráficas que sean capaces de cumplir con los requerimientos de tiempo real. Para asegurar este objetivo, se propone utilizar VisPy o similar, la cual es una librería escrita en lenguaje Python que está diseñada específicamente para la visualización interactiva de gran cantidad de datos de forma rápida, escalable y fácil.

Con respecto a la adquisición de datos de los sensores, en el mercado existe un sinfín de éstos que son de utilidad para algún problema que se quiera resolver, como podrían ser: detección de temperatura, presión, humo, obtención de imágenes mediante una cámara o la captura de un video, entre otros. En este PFC se utilizarán los sensores que nos proporciona la placa Navio2, a saber:

- ❑ 2 unidades de medición inercial MPU 9250 9DOF y LSM9DS1 9DOF. Son dispositivos electrónicos que miden e informan acerca de la velocidad, orientación y fuerzas magnéticas utilizando una combinación de acelerómetros y giróscopos.
- ❑ 1 barómetro MS5611 para medir la presión atmosférica.
- ❑ 1 sistema de navegación por satélite U-blox M8N, el cual utilizan una combinación de las tecnologías Glonass/GPS/Beidou.

Metodología

Antes de seleccionar la metodología de desarrollo que debe seguir nuestro PFC, debemos considerar la naturaleza del mismo. A grandes rasgos este consiste en la instrumentación de un cuadricóptero y en el desarrollo de una plataforma para su control, por lo que podemos suponer que el cuadrioptero ya instrumentado no dependerá de la plataforma y viceversa; exceptuando los casos en el que se necesite comprobar la comunicación entre sí y la navegación del cuadricóptero. Por lo expuesto hasta ahora, podemos considerar que el proyecto se dividirá principalmente en dos submódulos:

- A. Instrumentación del cuadricóptero
- B. Desarrollo de una plataforma.

Por lo tanto, a fines organizativos el proyecto simulará tener una secuencia lógica de tipo paralela, pero en el fondo va a consistir simplemente en un orden secuencial ya que por limitaciones de recursos humanos existe un único personal a cargo. Otro punto importante a tener en cuenta es que la definición del proyecto ya se encuentra parcialmente estipulada, es decir, sus requerimientos generales ya están fijados y no se esperan cambios radicales en los mismos, por lo que se requiere de una metodología rígida como lo es el ciclo de vida tipo cascada, descartando los modelos evolutivos como son espiral, incremental, por prototipos, entre otros.

En consecuencia, decidimos optar por tener un ciclo de vida rígido tipo cascada, pero con la opción de realizar estos dos submódulos de forma paralela⁶. En consecuencia, optamos por utilizar un método cascada con subproyectos, como se puede observar en la Fig. 1.

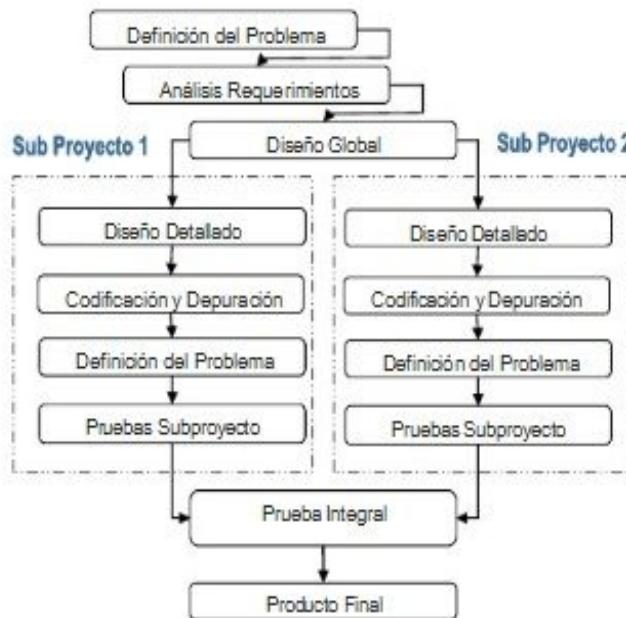


Fig. 1 - Modelo de metodología a utilizar

⁶ Cuando nos referimos en forma paralela, hacemos referencia que las tareas se harán en forma intercalada, ya que la realización de una fase requerirá la suspensión de la otra.

En base a lo mencionado anteriormente se definen las siguientes etapas del proyecto:

Etapas:

1. Obtención y análisis de requerimientos

El inicio del proyecto consistirá en una entrevista con los stakeholders, con el objetivo de obtener los requerimientos necesarios para realizar el PFC como son: qué funcionalidades se desea que brinde la plataforma, que recursos (componentes del cuadricóptero) hay a disposición para la instrumentación y herramientas a utilizar, entre otras cosas. Posteriormente se realizará un estudio del estado del arte que involucre proyectos y aplicaciones similares. Por último, se seleccionará las mejores alternativas para contribuir en los requerimientos del proyecto y finalmente desarrollar un documento de requerimientos.

- Entregables: Documento de requerimientos.

2. Diseño global

Una vez ya obtenido e interiorizado los requerimientos del proyecto, se procede a realizar el diseño de la estructura de nuestra plataforma, como son : funcionalidades que proveerá, interfaz para cada módulo (sketching) y que tipo de interacción tendrá con el cuadricóptero.

- Entregables: sketching, casos de usos, diagrama de clases.

3.A.1 Análisis y adquisición de componentes

En esta etapa se investigará el funcionamiento de manera detallada de cada componente perteneciente al cuadricóptero. En caso de existir faltante de recursos se procederá a buscar entre los proveedores que minimicen el tiempo y costo de adquisición.

- Hito 1: Componentes adquiridos.

3.A.2 Instrumentación del cuadricóptero

Se ejecutarán los pasos ya diseñados para el armado del cuadricóptero, y de manera consecutiva se configurarán cada componente para su posterior evaluación.

- Hito 2: Cuadricóptero armado.

3.A.3 Evaluación y corrección del funcionamiento

Se almacenarán instrucciones de forma Ad-hoc y temporal dentro de la computadora del cuadricóptero, de tal manera que se puedan comprobar el correcto funcionamiento de las maniobras que podría realizar en el futuro. Además se verificará la validez de los datos tomados por los sensores, tomando todas las medidas de seguridad que aseguren la integridad del equipo. En lo que concierne a las instrucciones serán almacenadas en un formato adaptable para el uso de la plataforma.

- Hito 3: Cuadricóptero en correcto funcionamiento.

3.B.1 Diseño detallado de la plataforma

A partir del diseño global se empiezan a diseñar de manera específica los módulos del proyecto, como lo son el módulo de control manual y el de visualización. Definiendo así la estructura de las mismas, el tipo de interfaz que tendrán y las distintas opciones que brindará, como es el caso de la representación de datos obtenidos por varios sensores.

- Entregables: Casos de usos, wireframe.

3.B.2 Codificación y testeo

Según lo establecido en el documento de requerimientos y en la etapa de diseño se comenzará a codificar la plataforma. De manera iterativa se comprobarán las correctas funcionalidades de la plataforma. Además, para asegurar que las instrucciones que se enviarán al cuadricóptero sean correctas, en primer instancia se utilizará la consola como método de análisis, y en caso de ser necesario se utilizará la simulación como una alternativa. Con respecto al testeo se validará mediante los stakeholders.

- Entregables: Prototipo de la plataforma.

4. Prueba integral de plataforma y cuadricoptero

Se evaluará mediante la plataforma la navegación del cuadricóptero con el módulo de control, y de manera conjunta la representación de los datos que se van obteniendo en tiempo real por los sensores del mismo.

- Entregables: Plataforma.
- Hito 4: Plataforma funcional.

5. Desarrollo del informe final

Una vez finalizada la etapa anterior se obtendrán conclusiones que serán debatidas con los stakeholders para poder realizar toda la documentación del informe final.

- Informe final del PFC.
- Hito 5: Proyecto final de carrera finalizado.

Criterio de aceptación: En lo que respecta al criterio de aceptación de los entregables, serán dictaminados por los directores, asegurando así los requerimientos estipulados desde un principio y según las necesidades o inconvenientes que se presenten.

Plan de tareas y actividades

Para la estimación de las duraciones de cada actividad se ha utilizado la técnica de *estimación paramétrica* más *juicio experto*. El esfuerzo impuesto para el proyecto será de 4 hs diarias a excepción de 8hs por día cuando se ejecuten las fases 3.A y 3.B que corresponden a los dos subproyectos, destinando 4 horas a cada eje de forma intercalada de lunes a sábados, ya que existe una persona como el responsable del mismo.

ID	Tarea/Actividad	Duración [Hs]
A	1. Obtención y análisis de requerimientos	32
A.1	Obtener requerimientos con los stakeholders.	4
A.2	Estudiar el campo actual.	4
A.3	Analizar y negociar los requerimientos.	8
A.4	Desarrollar el documento de requerimientos.	16
B	2. Diseño global de la plataforma	64
B.1	Definir las interacciones del cuadricóptero y la plataforma.	24
B.2	Diseñar arquitectura de la plataforma.	40
C	3.A.1 Análisis y adquisición de componentes	56
C.1	Investigar la tecnología a utilizar.	20
C.2	Analizar proveedores.	4
C.3	Realizar compra y esperar adquisición.	32
D	3.A.2 Instrumentación del cuadricóptero	56
D.1	Ensamblar el cuadricóptero.	32
D.2	Configurar y calibrar componentes.	24
E	3.A.3 Evaluación y corrección del funcionamiento	52
E.1	Comprobar y corregir las maniobras generales.	20
E.2	Evaluar las instrucciones almacenadas.	16
E.3	Capturar y validar datos de los sensores.	16
F	3.B.1 Diseño detallado de la plataforma	52
F.1	Describir la estructura y el comportamiento de la plataforma.	28
F.2	Definir las interfaces.	24
G	3.B.2 Codificación y testing	196
G.1	Preparar las herramientas a utilizar.	8
G.2	Codificar la plataforma	120
G.3	Controlar y validar las funcionalidades	40
G.4	Realizar documentación de la plataforma	28
H	4. Prueba integral de plataforma y cuadricóptero	32
H.1	Evaluación del funcionamiento del cuadricóptero y la plataforma.	20
H.2	Controlar la representación gráfica de los datos.	12
I	5. Desarrollo del informe final	52
I.1	Crear y debatir las conclusiones.	12
I.2	Redactar el informe final.	40
	Total	528

Tabla 1 - Plan de tareas

Cronograma

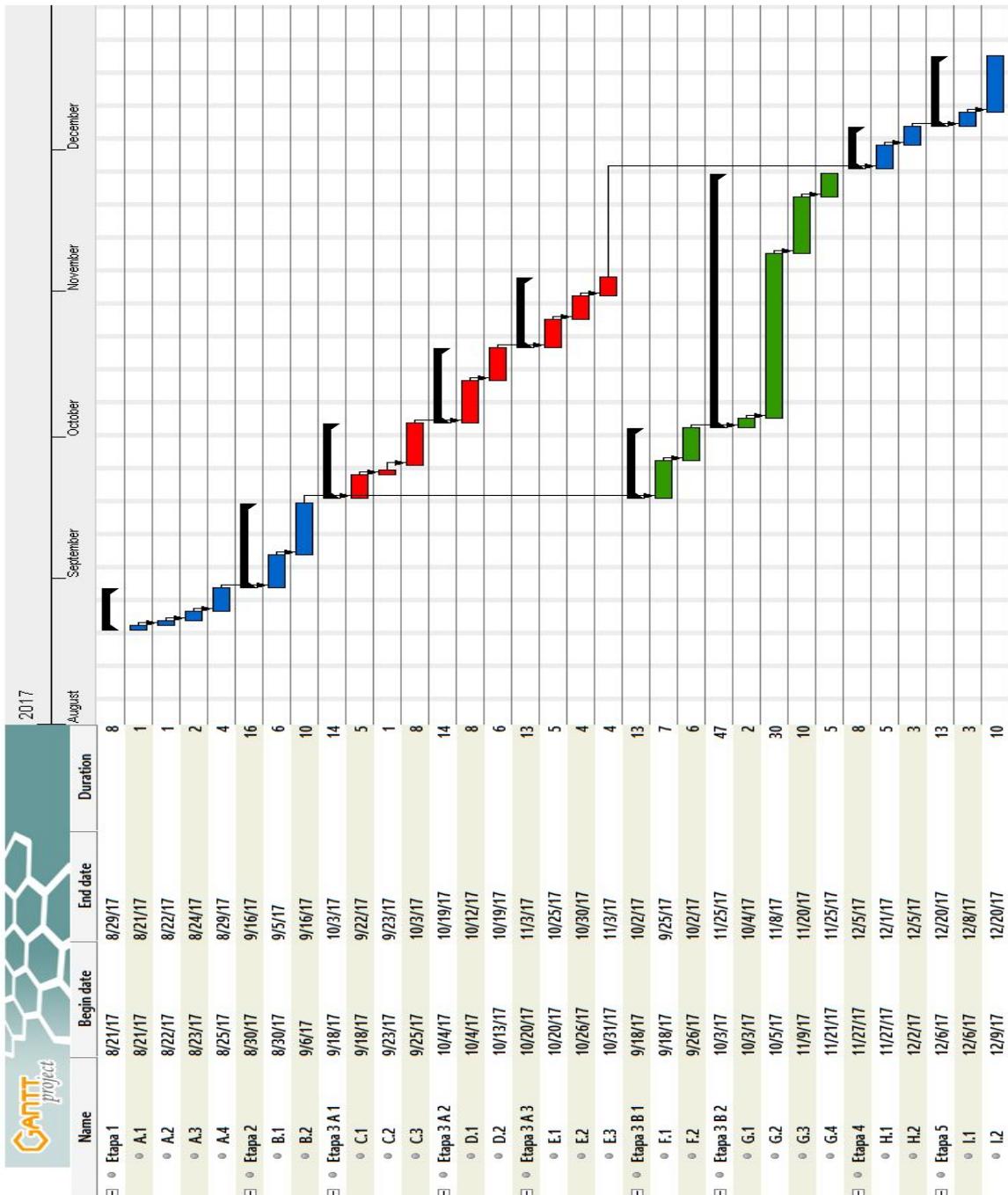


Fig. 2 - Diagrama de Gantt del proyecto

En la figura 2, tenemos la representación de las actividades a través del tiempo mediante un diagrama de Gantt, donde se muestra el orden lógico de las actividad a seguir, esto es, el conjunto de actividades a realizar en el proyecto y sus correspondientes duraciones (en días). Un punto importante a tener en cuenta en esta gráfica es que no representa de manera real la secuencia que va a seguir el proyecto, ya que en las fases 3.A y 3.B no se pueden realizar las tareas correspondientes en forma paralela, por lo que recurre a utilizar esta gráfica de manera representativa ya que las actividades se realizarán a la necesidad a la cual se requiera en dichas fichas. El inicio de proyecto se propone el dia

lunes 21 de agosto del 2017, con una estimación de fecha de finalización para el 20 de diciembre del 2017. El camino crítico se representa en la figura 2, mediante una trama a rayas sobre las actividades.

Informes de avance

A continuación se describirán los entregables que serán presentados ante la cátedra de Proyecto Final de Carrera con fines de control y/o incluir puntos de seguimiento que serán tenidos en cuenta por el alumno.

Entregable 1: Este informe tiene como objetivo informar sobre las etapas iniciales y aspectos generales del PFC, el mismo contendrá los requerimientos que fueron recolectados mediante sus correspondientes técnicas y análisis decisarios. Los requerimientos estarán debidamente validados por los directores y representados mediante el documento de requerimientos. Además, se adjuntan las descripciones comportamentales y estructurales de la plataforma de manera general.

Fecha de entrega: 18/09/2017

Entregable 2: Aquí se describe todo lo referido al subproyecto A, es decir, la instrumentación del cuadricoptero. Contendrá el análisis de la tecnología utilizada, los pasos realizados para el ensamblado del cuadricoptero, como también su configuración y los resultados de las pruebas. En el caso de presentarse problemas durante las etapas 3.A.1, 3.A.2 y 3.A.3 se adjuntará el procedimiento realizado para su solución.

Fecha de entrega: 6/11/2017

Entregable 3: Se describe los detalles de diseño, codificación y testing de la plataforma incluyendo además un prototipo del mismo.

Fecha de entrega: 27/11/2017

Entregable 4: Este informe contendrá información del avance con respecto a las pruebas de integración entre la plataforma y el cuadricoptero. Se describe como es la interacción entre ambos, las pruebas de navegación desde la computadora (emisor) y el vehículo (receptor) y resultados de la representación de datos obtenidos de manera gráfica.

Fecha de entrega: 5/12/2017

Entregable 5: Este último informe será el documento del proyecto final de carrera propuesto y el producto terminado.

Fecha de entrega: 22/12/2017

Riesgos

En esta sección se identificarán los riesgos que podrían presentarse en el desarrollo del Proyecto Final de Carrera. Estos riesgos son fenómenos que pueden afectar el objetivo de nuestro proyecto, como podría ser un retraso en el cronograma por falta de algún recurso o que los resultados preliminares no están cumpliendo los objetivos establecidos y que de manera desprevista no podamos solucionarlo, es por eso, que además desarrollaremos un plan de acción [1], este tendrá como objetivo solventar estas perturbaciones mediante técnicas o alternativas en el momento que se presenten, continuando así con el transcurso normal de nuestro proyecto.

A cada riesgo se le asignará una probabilidad de ocurrencia e impacto sobre el proyecto de manera cuantitativa y cualitativa. Una vez que tengamos los riesgos identificados con sus correspondientes características se aplicarán estrategias según la severidad del mismo; la severidad se obtendrá multiplicando la probabilidad [0 - 1] con el impacto [1 - 10]. En la tabla 2 se ven las estrategias seleccionadas según el tipo de severidad.

Severidad	Estrategia
1	Aceptar
(1, 3)	Mitigar
[3, 7)	Mitigar
[7 , 10]	Evitar

Tabla 2: Estrategias según la severidad

Se identifican los siguientes riesgos que podrían presentarse en el transcurso, descartando los riesgos que no afecten de manera significativa a los objetivos del proyecto.

ID: R001	Título: Falla o avería en el hardware	
Descripción: Al estar trabajando con hardware para el ensamblado y vuelo del cuadricóptero, y además sumando la inexperiencia del alumno en proyectos similares, existen altas probabilidades de que algún componente pueda ser quemado o sufrir algún tipo de fractura. Esto provocará vacíos temporales en el cronograma, retrasando la fecha final estimada del proyecto; ya que se deberá esperar la reposición del componente importado.		
Probabilidad: 0.8 - Alta	Impacto: 8 - Alto	Severidad: 6
Estrategia: Mitigar		
Estar en constante supervisión de personal idóneo en el tema en el momento de prueba del algún componente.		
Plan de contingencia: Tener a disposición repuestos de los componentes críticos al proyecto.		
ID: R002	Título: Disponibilidad de la directora	

Descripción: Por razones personales o laborales la disponibilidad de la directora puede afectar el desarrollo proyecto, provocando implementaciones erróneas y tiempos de corrección innecesarios, retrasando así el cronograma.		
Probabilidad: 0.3 - Baja	Impacto: 7 - Medio	Severidad: 2
Estrategia: Mitigar		
Informar periódicamente el avance del proyecto al Co-director y seleccionar un correcto asesor temático.		
Plan de contingencia: Avanzar en otros aspectos del proyecto.		
ID: R003	Título: Problemas en el vuelo	
Descripción: Por ciertos motivos, el vuelo del cuadricóptero puede ser afectado por factores desconocidos sobre la materia, como calibración de hélices y/o cuestiones aerodinámicas, produciendo así tiempos en pruebas de ensayos y error ineficientes.		
Probabilidad: 0.4 - Baja	Impacto: 8 - Medio	Severidad: 3
Estrategia: Mitigar		
Consultar con personal experimentado en el rubro y estudiar bibliografía relacionada.		
Plan de contingencia: Simular el vuelo mediante software para comprobar el funcionamiento de la plataforma, con el objetivo de descartar imperfecciones en el hardware; en caso de que este sea el impedimento se procederá a sustituirlo o reemplazarlo.		
ID: R004	Título: Daños al personal humano	
Descripción: Las hélices del cuadricóptero giran a una gran velocidad, y en etapas de pruebas de vuelos iniciales el mismo puede perder el control y generar algún tipo de daño, ya que no se encuentran debidamente calibradas o por inexperiencia del responsable.		
Probabilidad: 0.6 - Media	Impacto: 3 - Bajo	Severidad: 2
Estrategia: Mitigar		
Realizar las pruebas iniciales sin ninguna hélice y posteriormente en un ambiente despejado.		

Tabla 3: Riesgos

Recursos necesarios y disponibles

Actualmente para el desarrollo del proyecto contamos con los siguientes tipos de recursos

Recursos disponibles

Hardware:

- Notebook Asus Intel Core I3 4GB Ram, 320GB Disco rígido, pantalla 15.6".
- Raspberry pi 3.
- Estructura del cuadricóptero.
- Placa Navio2.

Software:

- Entorno de desarrollo: Qt, Sublime Text.
- Herramienta de sincronización del proyecto y almacenamiento en nube: Github.
- Sistema Operativo: Linux.
- Entorno para la redacción de informes: Latex.

Recursos Humanos

- Único alumno responsable del proyecto.
- Directora del proyecto.

Recursos necesarios

- Arduino UNO.
- Joystick .
- Transmisor/Receptor RC.
- Cables.

Presupuesto

En esta sección se establecerá el presupuesto de nuestro proyecto final de carrera, teniendo en cuenta las siguientes restricciones:

- En los bienes de capital se considera la amortización del mismo, basándonos en los datos sobre la notebook como ejemplo la amortización se obtiene de la siguiente forma:
 - Valor nuevo: \$10000.
 - Valor residual: \$1000.
 - Vida útil: 13800 hs.
 - Horas de uso = 528 hs.
 - $[(VN - VR) / VU] * horas\ de\ uso = \$344.$
- Las remuneraciones de los RRHH han sido extraídos de los honorarios publicados por el colegio de ingenieros especialistas de la provincia de Santa fe.

- El alumno actualmente se encuentra viviendo en su ciudad origen, por lo que se considera 5 viajes (Informes de avance + entrega final), más 3 viajes con objetivos de consultoría.
- El costo de los servicios se basan en la cantidad de meses que dura el proyecto.

Bienes de capital	Valor unitario [\$]	Cantidad	Amortización [\$]
Notebook	10000	1	344
Herramientas (tester, pinzas, destornillador)	800	1	10
Material e Insumos	Valor unitario [\$]		Precio total [\$]
Estructura del drone	1200	1	1200
Raspberry pi 3	1200	1	1200
Arduino UNO	300	1	300
Navio2	3000	1	3000
Receptor y transmisor RC	3000	1	3000
Joystick	300	1	300
Cables	100	1	100
RRHH	Valor unitario [\$]		Precio total [\$]
Horas de programador	150	528	79200
Horas de la directora	350	124	43400
Viajes y viáticos	Valor unitario [\$]		Precio total [\$]
Viajes (Federación - Santa fe)	200	16	3200
Viajes en colectivo urbano (Santa fe)	8	32	256
Otros	Valor unitario [\$]		Precio total [\$]
Acceso a internet	500	6	3000
Energía eléctrica	800	6	4800
Impresión y anillado del informe final	300	3	900
Impresión entregables	50	5	250
		Total del Proyecto	\$144.460

Tabla 4: Costos

Bibliografía

- [1] Project Management Institute. Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), Cuarta Edición. Impreso.
- [2] Sommerville, Ian. Ingeniería De Software. USA: Addison Wesley I., 1980. Impreso.
- [3] Sitio Oficial de Navio2. <https://docs.emlid.com/navio2/>. Último acceso: Mayo 2017.
- [4] Valavanis K, Oh P, Piegl LA. Unmanned Aircraft Systems: International Symposium On Unmanned Aerial Vehicles, UAV'08. Springer Science & Business Media; 2008.
- [5] Valavanis KP. Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy. Springer Science & Business Media; 2008.
- [6] Doherty P, Rudol P. A UAV Search and Rescue Scenario with Human Body Detection and Geolocation. Lecture Notes in Computer Science, n.d., p. 1–13.
- [7] Jones D. Power line inspection - a UAV concept. IEEE Forum on: Autonomous Systems, 2005. doi:10.1049/ic:20050472.
- [8] Zhang C, Kovacs JM. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precis Agric 2012;13:693–712.
- [9] Adams SM, Levitan ML, Friedland CJ. High Resolution Imagery Collection Utilizing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Post-Disaster Studies. Advances in Hurricane Engineering, 2012. doi:10.1061/9780784412626.067.
- [10] Maza I, Caballero F, Capitán J, Martínez-de-Dios JR, Ollero A. Experimental Results in Multi-UAV Coordination for Disaster Management and Civil Security Applications. Unmanned Aerial Vehicles, 2010, p. 563–85.
- [11] Ollero A, Martínez-de-Dios JR, Merino L. Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting. For Ecol Manage 2006;234:S263.

Bibliografía

Cuando bebas agua, recuerda la fuente.

Proverbio chino

- [1] S. M. Adams, M. L. Levitan, and C. J. Friedland. High resolution imagery collection utilizing unmanned aerial vehicles (uavs) for post-disaster studies. In *Advances in Hurricane Engineering: Learning from Our Past*, pages 777–793. 2013.
- [2] P. Doherty and P. Rudol. A uav search and rescue scenario with human body detection and geolocation. In *Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 1–13. Springer, 2007.
- [3] DroneKit. Librería dronekit - documentacion, 2015. [Internet; ultimo acceso noviembre-2018].
- [4] J. Duckett. *Web Design with HTML, CSS, JavaScript and jQuery Set*. Wiley Publishing, 2014.
- [5] S. Ian. *Ingenieria del software*. Pearson Educacion, 2005.
- [6] D. Jones. Power line inspection-a uav concept. In *Autonomous Systems, 2005. The IEE Forum on (Ref. No. 2005/11271)*, pages 8–pp. IET, 2005.
- [7] M. Lutz. *Learning Python: Powerful Object-Oriented Programming*. "O'Reilly Media, Inc.", 2013.
- [8] I. Maza, F. Caballero, J. Capitán, J. R. Martínez-de Dios, and A. Ollero. Experimental results in multi-uav coordination for disaster management and civil security applications. *Journal of intelligent & robotic systems*, 61(1-4):563–585, 2011.
- [9] S. McManus and M. Cook. *Raspberry Pi for dummies*. John Wiley & Sons, 2017.
- [10] A. Ollero and L. Merino. Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting. *Forest Ecology and Management*, 234(1):S263, 2006.
- [11] R. S. Pressman and J. M. Troya. Ingeniería del software. 1988.
- [12] Qt. Librería qt - documentacion, 2015. [Internet; ultimo acceso noviembre-2018].

- [13] A. S. Tanenbaum. *Redes de computadoras*. Pearson educación, 2003.
- [14] K. P. Valavanis. *Advances in unmanned aerial vehicles: state of the art and the road to autonomy*, volume 33. Springer Science & Business Media, 2008.
- [15] K. P. Valavanis, P. Oh, and L. A. Piegl. *Unmanned Aircraft Systems: International Symposium on Unmanned Aerial Vehicles, UAV 08*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [16] C. Zhang and J. M. Kovacs. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision agriculture*, 13(6):693–712, 2012.

Listado de acrónimos

API	<i>Aplication Programming Interface</i>
CM	<i>Centímetros</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
GUI	<i>Graphic User Interface</i>
IMU	<i>Múltiple Process Unit</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LiPo	<i>Lithium Polymer</i>
mA	<i>miliAmperes</i>
MPU	<i>Múltiple Process Unit</i>
PC	<i>Personal Computer, Computadora Personal</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RPM	<i>Revolutions Per Minute</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
V	<i>Volts</i>
VANT	<i>Vehículo Aereo No Tripulado</i>
VCS	<i>Version Control System</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

*Quien se atreve a invertir en su propia
educación, se arriesga a ser exitoso.*