



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO**

**INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE IMPLEMENTACION PREVIO A OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES  
MENCIÓN GESTIÓN EMPRESARIAL EN  
TELECOMUNICACIONES**

**“IMPLEMENTACION Y PROGRAMACION DE LA  
ESTABILIDAD DE VUELO DE UN DRON PARA EL  
CONCURSO DE ROBOTICA DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL”**

**NOMBRE: PABLO MIGUEL CHIANG SANCHEZ  
CARLOS ANDRES NIETO ESPINOZA  
TUTOR: ING. LUIS CORDOVA  
GUAYAQUIL, AGOSTO 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO  
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Pablo Miguel Chiang Sánchez y Carlos Andres Nieto Espinoza**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones.

**TUTOR (A)**

---

**Ing. Luis Córdova**

**REVISOR(ES)**

---

**Ing.**

---

**Ing.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Ing. Armando Heras**

**Guayaquil, a los 0 del mes de del año 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO  
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Pablo Miguel Chiang Sánchez  
Y Carlos Andres Nieto Espinoza**

### **DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación **“Implementación y Programación de la Estabilidad de Vuelo de un Dron para el Concurso de Robótica de la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil”** previa a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico y técnico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 0 días del mes del año 2015**

### **LOS AUTORES:**

---

**Pablo Miguel Chiang Sánchez**

**Carlos Andres Nieto Espinoza**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO  
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

## **AUTORIZACIÓN**

**Yo, Pablo Miguel Chiang Sánchez  
Y Carlos Andres Nieto Espinoza**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución el Trabajo de Titulación: **“Implementación y Programación de la Estabilidad de Vuelo de un Dron para el Concurso de Robótica de la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 0 días del mes del año 2015**

**LOS AUTORES:**

---

**Pablo Miguel Chiang Sánchez**

**Carlos Andres Nieto Espinoza**

***“Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia.”***

*Anónimo.*

## AGRADECIMIENTOS

*Es un honor para mí poder expresar un agradecimiento a toda la gente que estuvo a mi lado durante todo este largo proceso de aprendizaje, son tantas las personas que siempre estuvieron atrás mío apoyando a lo largo de toda la carrera que me faltaría papel para ponerlos, pero empezare por los seres más importantes en mi vida que son mis padres, sin importar los errores que he cometido siempre estuvieron ahí para apoyarme y aconsejarme en los buenos y malos momentos, es un orgullo para mi saber que los hare muy felices porque al ser el último de los hijos, o sea el más pequeño soy el primero en obtener un título universitario, a mi enamorada que día a día me escribía a preguntar cómo estaba con mi tesis, siempre estuvo para ayudarme cuando tenía algún problema o duda con mi trabajo, a mi tutor el Ing. Córdoba que con su gran conocimiento me ilustraba y me hacía ver desde otra perspectiva el casi interminable trabajo de titulación, y no puedo dejar de lado a todos mis profesores que fueron la guía para llegar hasta donde estoy y poder disfrutar de este duro pero a la final satisfactorio camino.*

*Gracias por el apoyo...*

*Pablo Chiang.*

*Aprovecho esta oportunidad para agradecer a Dios por bendecirme y brindarme la fortaleza, el espíritu para seguir adelante a pesar de todos los tropiezos y dificultades que hemos enfrentado, a mis abuelitas porque me brindaron el cariño y motivarme siempre a luchar por mis metas, siendo lo más valioso que tengo.*

*A mis padres, por su paciencia y su apoyo durante todos estos años de carrera sabiéndome guiar bajo sus valores. A mi familia en general por su apoyo incondicional, estando unos aquí conmigo y otras en mis recuerdos,*

*sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.*

*A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por haberme aceptado y formar parte de ella, a sus profesores de la facultad técnica los cuales me brindaron sus conocimientos y experiencia profesionales para mi formación, a mis compañeros y amigos que me brindaron su apoyo moral durante toda la carrera profesional.*

*A mi tutor de tesis Ing. Luis Córdova, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científicos, así como también sus consejos durante todo el desarrollo de la tesis.*

*Carlos Nieto.*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
CAPÍTULO 1: Especificaciones del Trabajo de Titulación. ....	18
1.1. Introducción.....	18
1.2. Antecedentes.....	19
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.4. Justificación.....	20
1.5. OBJETIVOS.....	20
1.5.1. Objetivo General.....	20
1.5.2. Objetivos Específicos.....	20
1.6. HIPOTESIS.....	21
1.7. Metodología de Investigación.....	21
CAPÍTULO 2: marco teórico. ....	22
2.1. ¿QUÉ ES UN CUADRICOPTERO?.....	22
2.2. CARACTERISTICAS DE LOS DRONES.....	23
2.3. Las partes de un cuadricoptero y sus funciones.....	24
2.4. Partes básicas de un Cuadricoptero.....	25
2.4.1. El marco.....	25
2.4.2. Los motores y hélices.....	25
2.4.3. El controlador de vuelo.....	25
2.4.4. ESc (controladores electrónicos de velocidad).....	25
2.4.5. Módulo de alimentación o distribución de alimentación del tablero	25
2.4.6. Batería.....	25
2.4.7. Controlador de Radio (R/C).....	26
2.5. Partes avanzadas de un Cuadricoptero.....	26



2.5.1.	GPS / Brújula .....	26
2.5.2.	Telemetría de radio .....	26
2.5.3.	Estación Terrena .....	26
2.5.4.	Interruptor armado.....	26
2.5.5.	FPV (First Person Video) .....	27
2.5.6.	Videografía aérea.....	27
2.5.7.	Tren de aterrizaje .....	27
2.6.	HISTORIA DE LOS DRONES .....	27
2.7.	CLASIFICACION DE LOS DRONES .....	29
2.7.1.	Drones a pequeña escala .....	29
2.7.2.	Drones a gran escala .....	29
2.8.	Clases de UAVs.....	30
2.9.	APLICACIONES .....	36
2.9.1.	Operaciones militares.....	36
2.9.2.	Vigilancia de Fronteras.....	37
2.9.3.	Rescate y búsqueda de personas desaparecidas.....	37
2.9.4.	Control y prevención de incendios .....	38
2.9.5.	Video vigilancia. ....	38
2.9.6.	Servicio de entrega de paquetes rápida.....	39
2.9.7.	Investigación científica. ....	39
2.9.8.	Fotografía, video cinema y cartografía aérea.....	40
2.9.9.	Agricultura. ....	40
2.9.10.	Para uso de entretenimiento. ....	41
2.9.11.	Manipulación de materiales nocivos, etc.....	41
2.10.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CUADRICOPTEROS ...	41
2.10.1.	Ventajas .....	41
2.10.2.	Desventajas. ....	41

2.11.	CUADRICOPTERO V-TAIL 500 .....	42
2.12.	La mecánica .....	42
2.13.	Electrónica.....	43
2.14.	BATERÍA LYNXMOTION 11.1V 3800mAh 3S 30C LiPo .....	44
2.15.	CONTROL DE VUELO QUADRINO NANO DRONE CON GPS. ....	45
2.16.	CABLES PARA EL RECEPTOR RC .....	48
2.17.	CABLES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA PARA EL CUADRICOPTERO.....	48
2.18.	CONTROL DE VUELO MWC MULTIWII PARA CUADRICOPTERO.....	49
2.19.	CARGADOR INTELIGENTE DE BATERÍA (80W) .....	50
2.20.	PAR DE HELICES (10-4.5) .....	52
2.21.	MOTOR SIN ESCOBILLAS MODELO MT2216 900Kv .....	53
2.22.	CONTROLADOR DE VUELO ELECTRONICO (ESC) .....	55
2.23.	SISTEMA DE RADIO CONTROL DE 5 CANALES .....	56
CAPITULO 3: montaje de la estructura del cuadricoptero .....		57
3.1.	MONTAJE DE PLATAFORMA DEL CUADRICOPTERO .....	57
3.2.	TREN DE ATERRIZAJE (X3). .....	57
3.3.	BRAZOS DELANTEROS (x2).....	58
3.4.	BRAZO PARTE DE ENCIMA (x2). .....	58
3.5.	COLA TRASERA .....	59
3.6.	BRAZO TRASERO O COLUMNA .....	60
3.7.	CUERPO PRINCIPAL.....	61
3.8.	INSTALACION DE MOTORES (X4). .....	62
3.9.	INSTALACION DEL CONTROLADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD (ESC).....	63
3.10.	CABLE DE DISTRIBUCION DE ENERGIA .....	65
3.11.	INSTALACION CONTROLADOR DE VUELO MULTIWII.....	66

3.12.	INSTALACIÓN DE BATERÍA .....	68
3.13.	CONEXIÓN DE LOS CONTROLADORES DE VELOCIDAD CON EL CONTROLADOR DE VUELO O TARJETA MULTIWII .....	68
3.14.	ORIENTACION DE LAS HELICES.....	71
3.15.	Receptor Ejemplo (Canal - Función): .....	71
3.16.	PASOS ASEGUIR PARA LA INSTALACION Y COMPILACION DE LA TARJETA QUADRINO NANO. ....	74
3.17.	CONTROL DE VUELO QUADRINO NANO CON GPS .....	76
3.18.	VERIFICACIÓN PRE-VUELO .....	81
CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		83
4.1.	CONCLUSIONES .....	83
4.2.	RECOMENDACIONES.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Cuadricoptero con cuatro brazos.....	23
Figura 2. 2: Primer cuadricoptero realizando pruebas (1907).....	28
Figura 2. 3: Vehículo Aéreo no Tripulado PREDATOR.....	30
Figura 2. 4: Vehículo Aéreo no Tripulado PREDATOR B. ....	31
Figura 2. 5: Vehículo Aéreo no Tripulado X-47A.....	32
Figura 2. 6: Vehículo Aéreo no Tripulado X-47B.....	33
Figura 2. 7: Vehículo Aéreo no Tripulado Mariner. ....	33
Figura 2. 8: Vehículo Aéreo no Tripulado Altair. ....	34
Figura 2. 9: Vehículo Aéreo no Tripulado MQ-8B Fire Scout.....	35
Figura 2. 10: Vehículo Aéreo no Tripulado ER / MP UAS.....	36
Figura 2. 11: UAV de uso militar. ....	37
Figura 2. 12: UAV para vigilante fronteriza. ....	37
Figura 2. 13: UAV diseñado para rescate. ....	38
Figura 2. 14: Imagen captada por un UAV en pleno incidente.....	38
Figura 2. 15: UAV diseñado para vigilancia aérea. ....	39
Figura 2. 16: UAV para transportar carga. ....	39
Figura 2. 17: UAV diseñado para investigaciones. ....	40
Figura 2. 18: Imagen captada por un UAV desde el aire. ....	40
Figura 2. 19: UAV para la agricultura.....	41
Figura 2. 20: Cuadricopter modelo Vtail 500.....	42
Figura 2. 21: Dimensiones del cuadricoptero modelo Vtail 500. ....	44
Figura 2. 22: Batería, modelo 11.1V 3800mAh 3S 30C LiPo, marca Lynxmotion.....	44
Figura 2. 23: Controlador de vuelo Quadrino Nano, marca Lynxmotion. ....	45
Figura 2. 24: Detalla las partes del controlador de vuelo Quadrino nano. ...	46
Figura 2. 25: Cable con recubriendo de malla para el recepto del UAV. ....	48
Figura 2. 26: Cables de distribucion de energía.....	49
Figura 2. 27: Se muestra los dos lados de la tarjeta del control de vuelo. ...	50
Figura 2. 28: Cargador inteligente de batería con sus respectivos cables... 51	
Figura 2. 29: Kit de hélices de plástico para el cuadricoptero. ....	52

Figura 2. 30: Motor sin escobillas modelo MT2216 900Kv. ....	53
Figura 2. 31: Las dimensiones del motor sin escobillas. ....	54
Figura 2. 32: Controlador electrónico de vuelo (ESC), marca: Lynxmotion. ....	55
Figura 2. 33: Control remoto modelo Spektrum DX5e 5. ....	56

### **Capítulo 3:**

Figura 3. 1: Partes y tornillos en su posicionamiento de ensamblaje.....	57
Figura 3. 2: Tren de aterrizaje armado y listo para unirse al cuerpo (x3).....	58
Figura 3. 3: Ubicación de los tornillos y separadores hexagonales. ....	58
Figura 3. 4: Brazos posteriores del cuadricoptero.....	59
Figura 3. 5: Armado de la cola trasera del cuadricoptero. ....	59
Figura 3. 6: Cola trasera terminada. ....	60
Figura 3. 7: Brazo trasero del cuadricoptero.....	60
Figura 3. 8: Brazo y cola trasera unidas .....	61
Figura 3. 9: Unión de todas las partes del cuadricoptero.....	61
Figura 3. 10: Armado completo del cuerpo del cuadricoptero modelo V-tail 500.....	62
Figura 3. 11: Instalación de motor brushless en el cuadricoptero. ....	62
Figura 3. 12: Montaje de los 4 motores brushless en el cuadricoptero. ....	63
Figura 3. 13: Instalación del controlador electrónico de velocidad (ESC). ...	64
Figura 3. 14: Instalación de los 4 ESC con los motores.....	64
Figura 3. 15: Conexión de cables de energía con el cable de distribución. .	65
Figura 3. 16: Cables de alimentación se conecta a cada ESC. ....	66
Figura 3. 17: Adaptación de tarjeta multiwii en estructura de cuadricoptero	66
Figura 3. 18: Ajuste de tornillos hexagonales en placa multiwii .....	67
Figura 3. 19: Tarjeta multiwi colocada en la infraestructura del drone .....	67
Figura 3. 20: Instalación de la batería y el cuadricoptero.....	68
Figura 3. 21: Cables rojos de los ESC retirados, solo queda 1 con el cable rojo.....	69
Figura 3. 22: Cables de los CES en la tarjeta multiwii. ....	69
Figura 3. 23: Tarjeta multiwii, con sus pines y numeraciones.....	70
Figura 3. 24: Conexión entre el RC y la tarjeta multiwii. ....	71
Figura 3. 25: Numeración y dirección de las hélices, modelo V-tail 500. ....	71

Figura 3. 26: Diferentes canales y función del receptor. ....	72
Figura 3. 27: Interfaz del software arduino con la programación para la tarjeta multiwii. ....	73
Figura 3. 28: Simulador de pruebas del software arduino al cuadricoptero .	73
Figura 3. 29: Terminado el cuadricoptero V-tail 500. ....	74
Figura 3. 30: Conexión de la quadrimo nano al receptor. ....	76
Figura 3. 31: Conexión de la quadrimo a cada uno de los CES de los motores. ....	77
Figura 3. 32: Quadrimo nano con sus conexiones de CES y del Rc. ....	77
Figura 3. 33: Configuración de la tarjeta Quadrimo nano. ....	78
Figura 3. 34: Diferentes opciones que brinda la configuración firmware de Quadrimo. ....	79
Figura 3. 35: Flasheando la información al controlador Quadrimo Nano. ....	79
Figura 3. 36: Muestra las 2 opciones para comprobar que todo este correcto. ....	80
Figura 3. 37: Terminado el armado del cuadricoptero con la tarjeta Quadrimo nano. ....	80
Figura 3. 38: Cargando batería Lipo de 3.8 mA. ....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Resultado de motores trabajando a diferentes voltajes ..... 54

Tabla 3. 1: Presupuesto para la implementación del drone. .... 81

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis explica detalladamente el funcionamiento de la tecnología de un vehículo aéreo no tripulado “drone”, su historia, usos, partes, interfaces y canales de comunicación, ventajas / desventajas de vuelo y demás características fundamentales.

El proyecto fue realizado con el fin de implementar y poner a prueba su sistema de estabilidad de vuelo de motores en lugares abiertos y cerrados quedando en óptimas condiciones para poder participar en el concurso de robótica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

El drone tiene la característica fundamental de realizar maniobras evasivas a altas velocidades, esquivar objetivos y estabilizarse en cuestión de segundos.

El cuadricoptero consta de partes y tarjetas muy complejas que son las que controlan la velocidad de los motores y les indican que motor debe girar más o menos que otro para así poder realizar maniobras tales como girar, elevarse, descender o hacer vueltas de 360° estando en posición horizontal.

Un cuadricoptero está conformado básicamente de una infraestructura que sostendrá los 4 motores, 4 controladores de velocidad, 1 controlador de vuelo, 1 batería, 1 receptor de señales y cables, el material con el que está elaborada la infraestructura no deberá ser muy pesado para que el uav pueda tener un buen desempeño una vez que empiece a volar

Las prácticas y maniobras de vuelo fueron realizadas de manera rigurosa, poniendo en práctica el rendimiento del drone y la forma de recuperarse al sentir golpes de vientos frontales y laterales, al ser usado en lugares abiertos, se hizo pruebas de rendimientos de batería, alcance y altura máxima de vuelo.



## **ABSTRACT**

This draft thesis explains in detail the functioning of the technology of a UAV "drone", its history, traditions, parties, interfaces and communication channels, advantages / disadvantages of flight and other key features.

The project was undertaken in order to implement and test your system stability engines flying in open and enclosed places staying in optimal conditions to participate in the robotics competition at the Catholic University of Santiago de Guayaquil.

The drone has the fundamental characteristic of performing evasive maneuvers at high speeds, dodging objectives and stabilized in seconds.

The quadcopter consists of very complex parts and cards are those that control the speed of the engines, telling them to motor should be more or less than another in order to perform maneuvers such as turning, rising, descend or do 360 laps while in horizontal position.

A quadcopter is made essentially of an infrastructure that will support the 4 engine, 4 speed controllers, 1 flight controller, 1 battery, 1 receiver and signal cables, the material that is made infrastructure should not be too heavy for the UAV can perform well once you start to fly.

Practices and flight maneuvers were carried out rigorously, implementing performance drone and how to recover the feel shock front and side winds, when used in open spaces, it was testing battery performances, scope and maximum flying height.

## **CAPÍTULO 1: ESPECIFICACIONES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

### **1.1. Introducción.**

Desde los inicios de la robótica hemos estado intentando crear robots que puedan ayudar a las personas a mejorar sus vidas, en situaciones donde existan limitaciones para los humanos, donde sabemos que nosotros como personas no podremos llegar o hacerlo, ese es el fin de los drones llegar a donde nosotros no llegamos.

La tecnología de los vehículos aéreos no tripulados o drones no es un tema nuevo, la aplicación de estos dispositivos voladores ha comenzado a atraer la atención no solo de los fanáticos de la tecnología, sino también de emprendedores que están buscando darles otro uso a estos equipos voladores.

Hoy en día al escuchar UAV o vehículo aéreo no tripulado lo vinculamos con el uso militar, los drones militares están diseñados para espiar zonas peligrosas e incluso bombardear áreas hostiles, su estructura, diseño y forma los hacen capaces de hacer maniobras evasivas a altas velocidades sin perder la estabilidad de vuelo.

Debemos saber que la construcción y control de los Cuadricopteros ya dejaron de ser interés de los aficionados y entraron a ser parte de un mundo donde la implementación de los drones puede ir desde usos domésticos, empresariales, educativos y hasta en seguridad.

Muchos son los usos que se les puede dar a los cuadricopteros, pero es de decisión de cada persona ponerlos en práctica, hoy en día se han vuelto famosos y muy usados en conciertos, partidos y sesiones de modelaje, para hacer tomas aéreas de una perspectiva diferente donde una persona no podría llegar.

## **1.2. Antecedentes**

Haciendo un análisis de los métodos de desarrollo y uso de los vehículos aéreos no tripulados (cuadricoptero), es fácil percatarnos la diferencia en tecnología que tenemos con las universidades en países extranjeros, la robótica hoy en día ha dado un gran salto en niveles de tecnología al traernos ante nosotros estos drones o robots aéreos que son muy llamativos para muchos jóvenes.

La facilidad para obtener partes y piezas para poder crear nuestro propio cuadricoptero, llama la atención de los estudiantes a esta área de la tecnología que es la robótica.

Está creciendo el interés de muchos estudiantes de distintas universidades del Ecuador a pertenecer a clubes de robótica, a querer ser parte de los cambios tecnológicos que vivimos día a día, a ingeniárselas y construir su propio robot.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Hay muchos concursos de robótica, pero pocas las universidades que participan no porque no quieran, sino por la falta de recursos como los robots o la falta de interés de sus estudiantes al no conocer este otro mundo que es la tecnología.

El problema radica en la carencia de equipos, que es motivo fundamental de la poca participación de los estudiantes de

En la actualidad la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, carece de equipos de robótica lo cual influye en la poca participación de los estudiantes en las diferentes actividades relacionadas a la robótica que se realizan en las diferentes localidades educativas a nivel nacional.

#### **1.4. Justificación**

Ecuador es un país en vías de desarrollo que constantemente intenta sobresalir inventando, haciendo e implementando sus propios sistemas robotizados a niveles educativos.

La electrónica y la robótica son dos áreas que van agarradas de la mano, en la cual los estudiantes miden y ponen a prueba su imaginación y aplican todos los conceptos y practicas aprendidas durante su periodo académico en las universidades.

El presente proyecto está dirigido a motivar a los estudiantes, y que sepan que el área de la robótica está esperando que formen parte de ella, a despertar el interés de saber que hoy nosotros comenzamos poniendo este granito de arena y que mañana ellos será miembros o creadores de uno de los más grandes clubes de robótica a nivel nacional.

#### **1.5. OBJETIVOS**

En el desarrollo del presente proyecto de implementación se plantearon los siguientes objetivos.

##### **1.5.1. Objetivo General**

Implementar y programar el control de estabilidad de vuelo de un cuadricoptero para participar en el concurso de robótica usando un vehículo aéreo no tripulado (cuadricoptero) marca lynxmotion, modelo VTAIL 500.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Programar el control de estabilidad de los motores del cuadricoptero.
- Implementar un cuadricoptero para la participación en el concurso de robótica a desarrollarse en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

- Simular pruebas de maniobras dentro de ambientes cerrados y abiertos.
- Analizar el funcionamiento del cuadricoptero como duración de batería, alcance máximo de altura, velocidad máxima de motores.
- Motivar a los estudiantes de la facultad de educación técnica para el desarrollo a interesarse y participar en los diferentes concursos de tecnología en la rama de robótica a nivel nacional.

## **1.6. HIPOTESIS**

La implementación de este proyecto promoverá a que los estudiantes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil comiencen una nueva etapa con una visión más abierta de crear, desarrollar e implementar sus propios diseños de equipos aéreos no tripulados.

## **1.7. Metodología de Investigación.**

Las técnicas y Métodos empleados en la implementación del cuadricoptero vtail 500 son los siguientes:

- Métodos cuasi-experimentales: Se utiliza con el objetivo de determinar y describir las características de los elementos utilizados, dar solución al problema planteado y la implementación del mismo.
- Método descriptivo: Se emplea con objetivo de analizar los elementos de forma separada en la implementación y configuración del cuadricoptero para ver las relaciones entre ellos.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. ¿QUÉ ES UN CUADRICOPTERO?**

Una de las tecnologías más destacadas en los últimos años son los cuadricopteros o vehículos aéreos no tripulados (UAV), está constituido por cuatro brazos y en la parte final de cada brazo tiene un motor con su hélice, tiene un parecido a los helicópteros pero la gran diferencia que está constituido por un rotor de cola que sirve para estabilizar todo el cuerpo, mientras que el UAV no depende de esos componentes pero utiliza dos hélices que giran en el sentido de las agujas del reloj y dos más en sentido contrario a las agujas del reloj que le ayudan a tener una mejor estabilidad en el aire. (Framework, 2015).

El cuadricoptero (ver figura 2.1), es capaz de volar a grandes distancias dependiendo su modelo, existe una innumerable variedad, ya sea por tamaño, diseño, especificaciones, etc. Pero cada uno tiene su distinta finalidad de uso, sobre todo en los últimos años, se han enfocado mucho en esta tecnología para usos militares por los diferentes enfrentamientos y conflictos en zonas hostiles donde el manejo de estos vehículos no signifique una amenaza ni peligro por el hecho de no requerir tripulantes. (Nuñez, ipn.mx, 2010).

El funcionamiento del cuadricoptero es complejo porque está constituido por varios dispositivos electrónicos (sensores, micro controladores), mecánicos e informáticos que lo hacen ver muy útiles y llamativos a simple vista, el desempeño del vehículo dependen de su infraestructura aerodinámica lo que lo hace más ágil y estable al realizar maniobras a altas velocidades. (Framework, 2015).

El peso es un elemento indiscutible al momento de crear y ensamblar el cuadricoptero, teniendo en cuenta que los materiales que se van a utilizar en su infraestructura no deben ser muy pesados, deben ser proporcional a la

potencia de giro que van a tener los rotores para que pueda tener un correcta elevación y maniobra en el aire.



Figura 2. 1: Cuadricoptero con cuatro brazos.  
Fuente: (Olimex, 2015).

## 2.2. CARACTERISTICAS DE LOS DRONES

Los cuadricopteros tienen variedad de características que se detallan a continuación:

- a) Sensores (Giroscopio / Acelerómetro / magnetómetro / Barómetro / GPS) y microprocesadores: los distintos sensores representan los más caros para este sistema y son muy importante para las diferentes tareas que se le aplique. Los microcontroladores nos permite que los cuadricopteros puedan volar de forma más segura, confiable y poca intervención del usuario. (Pico, 2012)
- b) Sistemas de comunicación: hay varias formas de conectarse, y en la comunicación recaen algunos impedimentos porque hoy en día se necesita flexibilidad, adaptabilidad, seguridad y control de datos masivos. (Chamorro, 2013).
- c) Estación de control en tierra: esto depende del cuadricoptero que se haya adquirido y función que vaya a desempeñar; se necesita un centro de mando en tierra que facilita al usuario para controlar su UAV. Varían por tamaño como se dijo, depende su finalidad de uso ya que pueden ser muy grandes hasta muy pequeñas. Un objetivo que se tiene provisto en un futuro, es pilotar varios cuadricoptero desde tierra en formación y alternados desde un mismo mando. (Pico, 2012).

- d) Facilidad de uso: son muy fáciles de usar, solo basta conocer los diferentes botones de velocidades y de maniobras de altitud controlados desde un mando por un canal de frecuencia desde tierra.
- e) Rapidez y habilidad: su rapidez los hace que sean visto como un gran avance para grandes empresas, sus motores son muy potentes para desempeñar cualquiera actividad y su habilidad les permite desempeñar con precisión cualquier tipo de maniobras aéreas, son pequeños y de bajos costos. (Real, 2009).

### **2.3. Las partes de un cuadricoptero y sus funciones**

Los cuadricopteros son realmente muy simples y sencillos. Un cuadricoptero básico consiste en un marco, cuatro motores con hélices, un controlador de vuelo, cuatro ESC (controladores de velocidad electrónica), una mesa de distribución de energía del módulo de alimentación, una batería y un controlador de radio (receptor y transmisor). (Solutions, 2014).

Los más avanzados suelen tener un GPS / Brújula para radios de navegación y telemetría para conectar con una estación en tierra, así como algún tipo de interruptor de conexión / desconexión de la aeronave, un timbre de seguridad y un monitor de batería opcional. Incluso pueden tener un buscador sonar gama para el sentido y maniobrar evitando obstáculos. (Bernal, 2013).

Si el cuadricoptero lo vamos a implementar para algún tipo de fotografía aérea o videografía, este puede ser equipado con un sistema de FPV (first person in video) o a bordo de un equipo de video tal como una cámara GoPro.

Ahora que conocemos cuales son las partes básicas que conforman el cuadricoptero, solo nos queda saber la función que cumplen cada una de ellas.



## **2.4. Partes básicas de un Cuadricoptero**

### **2.4.1. El marco**

El bastidor lleva todos los componentes del cuadricoptero, consiste en una placa de montaje unida con sus cuatro barreras o brazos para el montaje de los rotores. (Bernal, 2013).

### **2.4.2. Los motores y hélices**

Los motores y hélices proporcionan elevación y dirección al cuadricoptero. (Bernal, 2013).

### **2.4.3. El controlador de vuelo**

En términos más simples, el controlador de vuelo no es nada más que el cerebro de un multirotor. Es el ordenador principal a bordo del cuadricoptero o multirotor.

### **2.4.4. ESC (controladores electrónicos de velocidad)**

ESC o controladores electrónicos de velocidad, son los que controlan la velocidad de cada motor, los CES individualmente se encuentran conectados a cada motor por una placa de distribución de potencia común y el controlador de vuelo.

### **2.4.5. Módulo de alimentación o distribución de alimentación del tablero**

Una placa de módulo de alimentación o distribución de energía proporciona energía de la batería a cada ESC, así como otros componentes tales como un controlador de vuelo, equipo de video, etc.

### **2.4.6. Batería**

Consta de una batería LiPo el cual proporciona toda la energía al cuadricoptero. Estas baterías van desde 2S A 6S (la "S" es el número de

células en su interior) y una variedad de capacidades nominales en miliamperios.

#### **2.4.7. Controlador de Radio (R/C)**

El controlador de radio da al usuario, la capacidad de manejar y volar el cuadricoptero. Los controladores están conformados de dos partes, un receptor que se monta en el cuadricoptero y un transmisor que el piloto tiene en sus manos en el control de mando. Se pueden controlar con un controlador de radio, una estación de tierra o algunos casos ambas.

### **2.5. Partes avanzadas de un Cuadricoptero**

#### **2.5.1. GPS / Brújula**

Un GPS / Brújula proporciona datos de navegación y posicionamiento en el controlador de vuelo a bordo o en la estación de tierra.

#### **2.5.2. Telemetría de radio**

Un par de radios de telemetría conecta el cuadricoptero o el multirotor a la estación terrestre. Una se encuentra montada en el cuadricoptero y conectado al controlador de vuelo, mientras que el otro está conectado a cualquier equipo sea este una computadora portátil, Tablet o un teléfono como estación de tierra.

#### **2.5.3. Estación Terrena**

Una estación de base de tierra contiene algún tipo de software de navegación. Algunas estaciones terrestres más avanzadas tienen la capacidad de establecer rutas de vuelo con navegación waypoints, retorno autónomo de casa o recibir información de vuelo al cuadricoptero tales como altitud, orientación, velocidad, estado de batería, GPS, etc.

#### **2.5.4. Interruptor armado**

Un interruptor armado se utiliza tanto para armar y desarmar el cuadricoptero.

#### **2.5.5. FPV (First Person Video)**

Que significa primer video de la persona, da al piloto una vista en primera persona de la aeronave. Su sistema consiste en un FPV generalmente montado en la parte delantera de la aeronave, un transmisor y un receptor a una pantalla de monitor.

#### **2.5.6. Videografía aérea**

Para tomar imágenes aéreas de calidad desde un cuadricoptero deben ser equipados con cámaras tales como las GoPro. La cámara está montada en el cardan, y el cardan se puede montar en la parte frontal o inferior del cuadricoptero.

#### **2.5.7. Tren de aterrizaje**

Cuando una cámara de video está montada en la parte inferior de un cuadricoptero a menudo es necesario añadir tren de aterrizaje apropiado para evitar que la cámara toque el suelo.

### **2.6. HISTORIA DE LOS DRONES**

El desarrollo de los cuadricopteros fue después de la primera guerra mundial y para la segunda guerra mundial ya los ingenieros alemanes desarrollaron varios prototipos que fueran guiados por radiofrecuencia, muchos de estos fueron de gran utilidad ya que comenzaron a cargarlos con armamento y sirvieron para atacar al enemigo durante los enfrentamientos. Algunos países comenzaron hacer grandes inversiones a la investigación de vehículos aéreos no tripulados (UAV), entre esos están Estados Unidos, Israel, Unión Europea y recientemente Japón. (TV-Novosti, 2013)

En 1907 se construye el primer cuadricoptero por los hermanos Louis y Jacques Bréguet, se lo desarrollo en Francia, como se muestra en la figura 2.2.

Las primeras generaciones de los drones (UAV), fueron creados principalmente para la supervisión y segundo para la vigilancia y espionaje por el gran potencial que tienen, muchos de ellos fueron re-diseñados y le adaptaron misiles y bombas para destruir objetivos a grandes distancias. (Chamorro, 2013).

Los UAV armados con cargamentos de destrucción masiva, fueron nombrados como vehículos de combate aéreo no tripulado.

En la guerra del Golfo (1991), el ejército de Estados Unidos utilizo estos UAV para vigilancia al enemigo a plena luz del día y durante la noche para captar información de los objetivos. (TV-Novosti, 2013).

El UAV más reciente que utilizaron los estadounidenses fue en la guerra de Afganistán (2002) para combatir y enviar imágenes a grandes distancia; que en este caso fueron en áreas inaccesibles y peligrosas para ser vigiladas por vehículos tripulados o para el mismo ejército americano. (Nuñez, ipn, 2010).

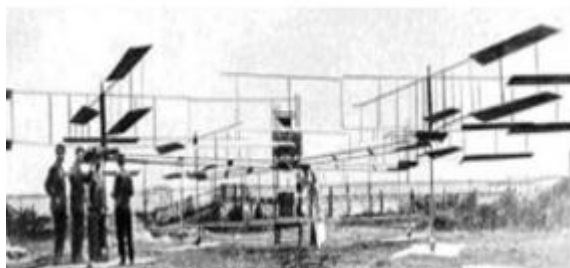


Figura 2. 2: Primer cuadricoptero realizando pruebas (1907).  
Fuente: (Aviastar, s.f.).

## **2.7. CLASIFICACION DE LOS DRONES**

### **2.7.1. Drones a pequeña escala**

Los vehículos aéreos no tripulados, cada año han recibido varios nombres según su diseño, forma y función al que son designados como quadcopter, quadrotor, drone, UAV, UAS, etc. Pero cada uno tiene su ventaja y trabajo específico, también encontramos otra variedad como son los tricópteros que son de tres hélices, hexacópteros con seis hélices, y por último, octacópteros de ocho hélices, mientras más hélices tenga, tendrá una mayor estabilidad y usados para carga pesadas en un área local. (Uav, the uav, 2013).

### **2.7.2. Drones a gran escala**

Los UAVs ofrecen una serie de ventajas sobre los aviones tradicionales. El principal de ellos es el hecho de que los UAV no crean ningún peligro para los pilotos, lo que permite a los militares para desplegar aviones en regiones hostiles sin temer la pérdida de soldados. UAVs también puede llegar a ser sustancialmente más baratos que los aviones tradicionales, ya que pueden ser mucho más pequeño y prescindir de una serie de sistemas de soporte de vida necesaria en los aviones pilotados. (Uav, the uav, 2013).

En el pasado, los vehículos aéreos no tripulados eran utilizados principalmente para misiones de exploración y comunicaciones. Puesto que pueden ser muy pequeños, los vehículos aéreos no tripulados a menudo pueden pasar completamente desapercibidos y sigilosos durante misiones de inteligencia. Algunos UAVs modernos han sido equipados con armamento, y en Estados Unidos están siendo utilizados para eliminar objetivos de combate aire-tierra. El más famoso de estos vehículos aéreos no tripulados de combate de nueva generación es el Predator, que está equipado con misiles Hellfire con el fin de destruir instalaciones enemigas en tierra. (Solutions, 2014).

Los UAVs abarcan un amplio rango de autonomía, con el más simple de ser controlado únicamente por radio con ninguna acción independiente, y lo más complejo es que incorpora la inteligencia artificial sofisticada que les permite emprender misiones enteras una vez programados. El empuje actual en UAVs es hacia un vehículo que puede ser programado con una ruta y objetivo general, que luego de despegar, vuela a la zona de la misión, destruya el objetivo, vuelva a la base, y aterrice, todo ello sin la necesidad de un ser humano manejando. (CIRIZA, 2015).

Incluso en este escenario, un controlador será responsable en el suelo para dar la orden de disparar o dejar caer una carga útil. Esto se ajusta a la doctrina militar actual y asegura que siempre habrá un agente responsable en el caso de un destino incorrecto.

## 2.8. Clases de UAVs

### ➤ Predator A



Figura 2. 3: Vehículo Aéreo no Tripulado PREDATOR.  
Fuente: (theUAV, 2013).

El Predator (ver figura 2.3), es una evolución del crecimiento de los sistemas de ingeniería, utiliza aviónica común y sistemas mecánicos e incorpora un motor de 4 cilindros Rotax. Configurado con un sistema de enlace de datos por satélite, Predator tiene una autonomía de 40 horas y está equipado con un estabilizador que contiene dos cámaras de vídeo de color y una de infrarrojos (FLIR) cámara con visión de futuro, así como un radar de apertura sintética (SAR) .El Predator se ha configurado con armas aire-aire o aire-tierra, así como un designador láser. (Uav, the uav, 2013).

Desde 1995, Depredador ha registrado más de 65.000 horas de vuelo, de las cuales más de la mitad han sido durante los despliegues de la zona de combate, donde Predator opera en apoyo de las fuerzas estadounidenses y de la OTAN. (Uav, the uav, 2013).

Predator es el único sistema de reconocimiento disponible en el inventario de Estados Unidos que puede proporcionar casi en tiempo real imágenes de vídeo día o de la noche en todas las condiciones meteorológicas a través de satélite en todo el mundo, sin exponer a los pilotos para combatir el fuego. (Uav, the uav, 2013).

#### ➤ Predator B

El avión Predator B (ver figura 2.4), fue desarrollado alrededor del año 2000. Impulsado por un motor turbohélice, la serie Predator B fue diseñada con una larga resistencia y para que alcance una elevada altitud, la aeronave no tripulada se usó como un sistema multi-misión. De reconocimiento, vigilancia, orientación, y la entrega de armas a la investigación científica y otras aplicaciones civiles, Predator B tiene la capacidad para llevar a cabo varias misiones al mismo tiempo debido a su gran capacidad de carga interna y externa. (Uav, the uav, 2013).



Figura 2. 4: Vehículo Aéreo no Tripulado PREDATOR B.  
Fuente: (theUAV, 2013).

#### **Características:**

- Tolerante a fallos
- Dirigidos por control remoto o totalmente autónoma
- Capacidad de carga útil
- GPS e INS
- UHF / VHF voz
- 6 estaciones de ala para el transporte de cargas útiles externa

➤ X-47A & X-47B UCAS – UAV

➤ X-47A

El X-47A (ver figura 2.5), es de bajo costo y de prototipo rápido; fue diseñado con una gestión de vehículos no tripulados robusta; y las cualidades aerodinámicas sin cola adecuados para lanzamiento y recuperación de vuelo en operaciones autónomas de un portaaviones. X-47A, construido en gran parte con materiales compuestos y accionado por un motor JT15D-5C proporcionando 3.200 libras de empuje, mide 27.9 pies de largo con una envergadura de casi igual de 27.8 pies. El X-47A incorpora leyes avanzadas de control de vuelo autónomo para tener en cuenta para el control direccional de su diseño sin cola. (Uav, the uav, 2013).



Figura 2. 5: Vehículo Aéreo no Tripulado X-47A

Fuente: (theUAV, 2013).

➤ X-47B UCAS

El objetivo del X-47B UCAS (ver figura 2.6), es demostrar la viabilidad técnica de un sistema no tripulado para llevar a cabo vigilancias de manera eficaz y asequible, los objetivos específicos de desempeño del programa incluyen un vehículo aéreo que tendría un radio de huelga de 1.500 millas náuticas de forma autónoma. De distancia y permanecer allí durante dos



horas, todo el tiempo que lleva una carga útil de 4.500 libras. (Uav, the uav, 2013).



Figura 2. 6: Vehículo Aéreo no Tripulado X-47B.

Fuente: (theUAV, 2013).

➤ Mariner – UAV

El Mariner (ver figura 2.7), es un derivado del exitoso modelo Predator B, de gran altitud, son aviones multipropósito apto para misiones marítimas y de vigilancia fronteriza de larga resistencia. Configurado para llevar combustible adicional, Mariner puede operar en misiones de hasta 49 horas, proporcionando en tiempo real datos de inteligencia, vigilancia y reconocimiento a los usuarios de todo el mundo. Además de más de 800 libras de capacidad de carga interna, Mariner también puede transportar hasta 3,800 libras de cargas útiles externas que proporcionan la capacidad misión múltiple y simultánea de una aeronave. (Uav, the uav, 2013).



Figura 2. 7: Vehículo Aéreo no Tripulado Mariner.

Fuente: (theUAV, 2013).

El Mariner está diseñado para cumplir con los requisitos del programa de la Marina de los EE.UU. Amplia Zona Marítima de Vigilancia, ya que puede proporcionar datos de inteligencia directamente en la arquitectura del

sistema y necesidades regionales de vigilancia y seguimiento. (Uav, the uav, 2013).

➤ Altair

El Altair (ver figura 2.8), una versión superior del Predator B, fue diseñado específicamente como una plataforma no tripulada para misiones de investigaciones científicas y comerciales que requieren resistencia, fiabilidad y una mayor capacidad de carga útil. Construido en colaboración con la NASA, el Altair tiene una envergadura de 86 pies, puede volar hasta 52.000 pies y pueden permanecer en el aire durante más de 30 horas. (Uav, the uav, 2013).

Marcado como el primer avión a control remoto que cumpla con requisitos de las autoridades de aviación para vuelos no tripulados en el espacio aéreo nacional, Altair está configurado con un sistema de control de vuelo de doble arquitectura tolerante a fallos y aviónica redundantes triples para una mayor fiabilidad. Altair está siendo integrado con un sistema automatizado de prevención de colisiones, así como un relé de voz de control del tráfico aéreo, que aumentará la capacidad de respuesta y la comunicación para vuelos en espacio aéreo nacional. (theUAV, 2013).



Figura 2. 8: Vehículo Aéreo no Tripulado Altair.  
Fuente: (theUAV, 2013).

➤ MQ-8B Fire Scout

El sistema del vehículo aéreo no tripulado Navy Fire Scout (ver figura 2.9), tiene un despegue y aterrizaje vertical, proporciona conocimiento de la situación sin precedentes, precisión de orientación de apoyo para el futuro de la Marina de los Estados Unidos. Cuenta con una capacidad autónoma de despegue y aterrizaje desde cualquier buque de guerra, preparado y capaz de aterrizaje en lugares y zonas no preparadas. (Uav, the uav, 2013).

Una capacidad de carga útil de la misión modular permite un crecimiento continuo en nuevas cargas útiles, y un vehículo de aire de gran fiabilidad cumple o excede todos los criterios de rendimiento.

Con una resistencia total de 7 horas, el Fire Scout puede proporcionar más de 5 horas de tiempo en la estación con una carga estándar (200 km) del sitio de lanzamiento. Utilizando una carga útil de referencia que incluye sensores infrarrojos / electro-ópticas / telémetro y designador laser, el Fire Scout puede encontrar e identificar los objetivos tácticos, pista y designar objetivos, proporcionar con precisión la orientación de datos a la plataformas, emplear armas de precisión, y realizar evaluación de daños de batalla. (theUAV, 2013).



Figura 2. 9: Vehículo Aéreo no Tripulado MQ-8B Fire Scout.  
Fuente: (theUAV, 2013).

#### ➤ ER / MP UAS

Los Aviones multi-misión, basados en el sistema Predator están destinados para las operaciones del ejército de Estados Unidos. El ER / MP UAS (ver figura 2.10), ofrece al Ejército una larga resistencia, capacidad de ataque táctico y un motor de combustible pesado para una mayor compatibilidad en el campo. (Uav, the uav, 2013).



Figura 2. 10: Vehículo Aéreo no Tripulado ER / MP UAS.  
Fuente: (theUAV, 2013).

#### **Características:**

- Controles de vuelo redundantes
- Despegue y aterrizaje automático dual redundante
- TCDL comunicaciones por satélite más allá del horizonte
- Comunicaciones de retransmisión de datos aéreos TCDL
- Disponibilidad operacional del sistema más del 90%
- Desplazamiento / emplazamiento en menos de 2 horas

## **2.9. APLICACIONES DE LOS CUADRICOPTEROS**

Un cuadricoptero es muy conocido por su gran eficiencia y gracias a eso los UAV tienen una variedad de aplicaciones, especificaremos las más útiles y confiables a continuación:

### **2.9.1. Operaciones militares.**

En la figura 2.11 se muestra un mini drone de uso militar, que sirve para:

- Espionaje
- Combate

- Patrullaje
- Reconocimientos de objetivos
- Planear tácticas.



Figura 2. 11: UAV de uso militar.  
Fuente: (Schilling, 2015).

### **2.9.2. Vigilancia de Fronteras.**

En la figura 2.12 se muestra un dron de vigilancia y patrullaje fronterizo



Figura 2. 12: UAV para vigilante fronteriza.  
Fuente: (Ounae, 2013).

### **2.9.3. Rescate y búsqueda de personas desaparecidas.**

Los drones pueden ser muy útiles para casos de emergencias e investigaciones en lugares de poca accesibilidad como se muestra en la figura 2.13.

- Lugares montañosos

- Cuevas
- Áreas de difícil acceso.



Figura 2. 13: UAV diseñado para rescate.  
Fuente: (Ounae, 2013).

#### **2.9.4. Control y prevención de incendios**

Los drones son muy útiles en la búsqueda de sobrevivientes de incendios, para casos donde las personas no pueden llegar como se muestra la figura 2.14.



Figura 2. 14: Imagen captada por un UAV en pleno incidente.  
Fuente: (DYNAMICS, 2012).

#### **2.9.5. Video vigilancia.**

Los drones para vigilancia son unas de las más usadas, una de las formas más fáciles de velar por la seguridad de las personas es desde el aire como se muestra en la figura 2.15.

- Urbana
- Seguridad ciudadana
- Actividades ilegales

- Tráfico vehicular
- Manifestaciones.
- Conciertos.



Figura 2. 15: UAV diseñado para vigilancia aérea.

Fuente: (DYNAMICS, 2012).

#### **2.9.6. Servicio de entrega de paquetes rápida.**

Para mejorar el servicio de entrega inmediata de mercancía a los usuarios, las compañías de ventas por internet han optado por utilizar drones para hacer llegar las compras hasta la casa del usuario final como se muestra en la figura 2.16.

- Simplificación del proceso.



Figura 2. 16: UAV para transportar carga.

Fuente: (Ounae, 2013).

#### **2.9.7. Investigación científica.**

El estudio de la tierra y de grandes terrenos se ha facilitado con el uso de los drones haciendo tomas y mediciones a gran escala como se muestra en la figura 2.17

- Estudio de la tierra, aire.
- Estudio del agua

- Cartografía
- Accidentes de tránsito.
- Mapas geológicos sedimentológicos.
- Mapas geofísicos.

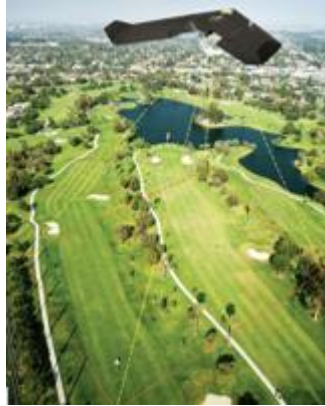


Figura 2. 17: UAV diseñado para investigaciones.  
Fuente: (Ounae, 2013).

### **2.9.8. Fotografía, video cinema y cartografía aérea.**

Los drones son muy útiles para tomas aéreas a elevadas distancias como se muestra en la figura 2.18

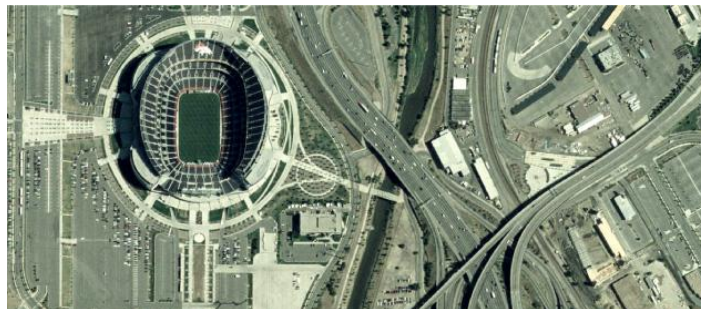


Figura 2. 18: Imagen captada por un UAV desde el aire.  
Fuente: (DYNAMICS, 2012).

### **2.9.9. Agricultura.**



Para control de zona de plantaciones, detección de humedad en las plantas y coordinar la correcta distribución de abonos a toda la zona plantada como se muestra en la figura 2.19

- Control y revisión de los cultivos.
- Vigilancia.



Figura 2. 19: UAV para la agricultura.  
Fuente: (Ounae, 2013).

**2.9.10. Para uso de entretenimiento.**

**2.9.11. Manipulación de materiales nocivos, etc.**

## **2.10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CUADRICOPTEROS**

### **2.10.1. Ventajas**

- Fácil de construir, dependiendo su función a desempeñar.
- Sus partes se encuentran en el mercado a precios accesibles.
- Capacidad de llegar a lugares de difícil acceso.
- Fácil de manejar.
- Toma fotografías de alta calidad a grandes alturas.
- Permite Videos en tiempo real.
- Obtiene buena estabilidad de maniobras. (Diaz, 2013).

### **2.10.2. Desventajas.**

- Depende de una estación para ser maniobrado en tierra.
- Limitaciones para cargar peso de un lugar a otro.
- Velocidad es baja dependiendo su diseño.

- Alto consumo de energía o batería.
- Alcanza distancias y alturas limitadas. (Diaz, 2013).

### 2.11. CUADRICOPTERO V-TAIL 500

El vtail 500 multi-rotor de UAV es un Cuadricoptero de alto rendimiento (ver figura 2.20) capaz de realizar movimientos y maniobras a altas velocidades. (RobotShop, lynxmotion, 2015).

El concepto vtail utiliza dos hélices traseras anguladas, y dos hélices frontales rectas. Muchos diseños de Tricoptero usan un servo de ángulo en la hélice trasera para girar la aeronave hacia la derecha o hacia la izquierda, y tienen un problema con la asimetría (sólo dos hélices pueden contraatacar ósea girar mientras que la tercera causa un poco de rotación). El tricoptero de 6 motores, resuelve la cuestión de simetría, pero es más caro, ya que requiere de tres motores adicionales y CES. (Lynxmotion, Robotshop, 2015).



Figura 2. 20: Cuadricopter modelo Vtail 500.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015)

### 2.12. La mecánica

El marco utiliza fibra de vidrio G10 compuesto que es muy rígido y ligero y ofrece ventajas significativas de los precios a través de fibra de carbono. El hardware es completamente de metal, utilizando separadores de aluminio ligero, tornillos de acero y tuercas de seguridad. (Lynxmotion,

Robotshop, 2015).

El vtail 500 es mayor que el vtail 400. El "400" se refiere al diámetro del círculo que pasa a través de los cuatro motores y que se utiliza comúnmente como una referencia del tamaño de los UAV múltiples rotor. (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### **2.13. Electrónica**

El diseño del vtail requiere un controlador que tiene que ser compatible con vtail. La función del controlador es estabilizar la aeronave usando sensores a bordo (normalmente un acelerómetro multi-eje y / o giroscopio). Además del controlador principal, cada motor necesita un controlador de velocidad electrónico (ECS) idealmente diseñado para el tiempo de respuesta muy rápido que necesitan los aviones multi-rotor de rendimiento. (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

- Controlador: FLIP (controlador de vuelo compatibles Multi-Wii). Este es uno de los controladores menos caros de vuelo en el mercado y utiliza el lenguaje de programación Arduino. A bordo es un chip ATmega328, un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes. Todos los pines están pre-soldadas.
- Alternativamente, puede incorporar su propio controlador que utiliza un estándar de 30 mm x 30 mm o 45 mm x patrón de agujeros de montaje de 45 mm (e incluye compatibilidad para diseños vtail).

Las dimensiones se detallan en la figura 2.21, pero las especificaremos a continuación:

- Longitud: 43cm
- Ancho: 47.3cm
- Altura: 15.7cm
- Peso: 365 g

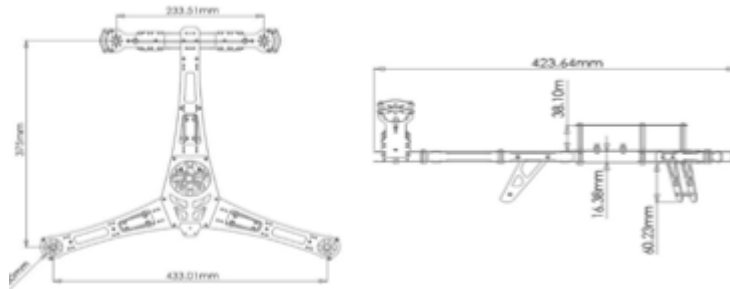


Figura 2. 21: Dimensiones del cuadricoptero modelo Vtail 500.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

## 2.14. BATERÍA LYNXMOTION 11.1V 3800mAh 3S 30C LiPo

### Descripción:

- 11.1V (3S), batería 3800mAh 30C LiPo
- Perfecto para vehículos aéreos no tripulados de tamaño medio multi-rotor.  
4 pines JST conector para carga.
- Carga de la longitud del cable: 4 cm

La batería de lynxmotion 11.1V 3800mAh 3S 30C LiPo (ver figura 2.22), es perfecto para UAVs multi-rotor de tamaño medio, brindando un buen porcentaje de corriente continua y es capaz de resistir hasta 30C de temperatura. (RobotShop, lynxmotion, 2015).



Figura 2. 22: Batería, modelo 11.1V 3800mAh 3S 30C LiPo, marca Lynxmotion.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### **Características**

- 11.1V (3S) batería LiPo
- Capacidad 3800mAh
- 30C temperatura
- Tasa de descarga continúa.
- Conector Maestro

### **Especificaciones**

- Longitud de conector: 10 cm.
- Sección del cable: 12AWG

### **2.15. CONTROL DE VUELO QUADRINO NANO DRONE CON GPS.**

El Lynxmotion Quadrino Nano Fue diseñado para ser una de los posibles controladores de vuelo más pequeños del mercado (ver figura 2.23). El kit incluye muchas características adicionales como gps, giroscopio, acelerómetro, magnetómetro y barómetro, normalmente reservadas a los controladores de vuelo mucho más caros. (RobotShop, lynxmotion, 2015).



Figura 2. 23: Controlador de vuelo Quadrino Nano, marca Lynxmotion.

Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

El Quadrino es el único controlador MultiWii con el software más fácil de usar y su configuración y entorno de desarrollo es basado en la programación de Arduino. Esta aplicación de asistente fácil le llevará a través de todo el proceso al tiempo que proporciona una gran cantidad de

documentación sobre las distintas opciones y parámetros que tiene disponible. (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### Características:

- Software Arduino y microcontroladores compatible
- Muy pequeño tamaño: 53x53mm (por si acaso)
- Integrado Sensores (Giroscopio / Acelerómetro / magnetómetro / Barómetro)
- Incorporado en el Módulo GPS con antena externa
- Conexión fácil para el controlador del motor y el sistema de Radio
- Caso semitransparente para ver el estado del LED
- Software MultiWii compatibles
- Puertos de expansión para la experimentación (I2C, UART, GPIO).

### Especificaciones técnicas:

Se detallaran todas las partes, con sus especificaciones técnicas del controlador de vuelo que se mencionan a continuación en la figura 2.24.

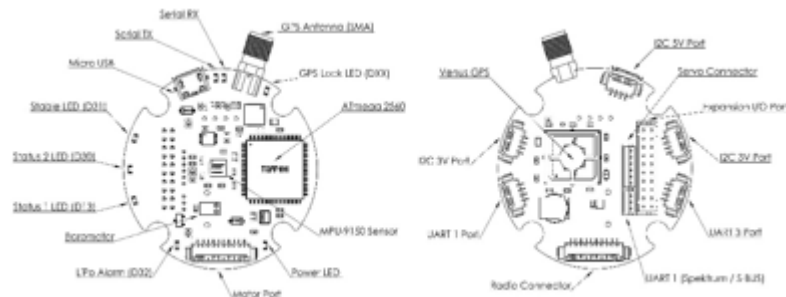


Figura 2. 24: Detalla las partes del controlador de vuelo Quadrino nano.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

- Procesador ATmega 2560 (16MHz Flash @ 256Kb)
- Diseño de PCB de seis capas compactas
- 3M espuma adhesiva de doble cara o tornillos: opciones de montaje

- Amortiguación de vibraciones montado PBC.
- Gestor de arranque
- A bordo de la conexión micro-USB puerto de programación.

MPU9150 chip sensor que incluye:

1. ejes giroscopio
2. ejes Acelerómetro
3. ejes magnetómetro

- MS5611 Barómetro con cubierta de espuma
- Chipset Venus838FLPx 50Hz GPS con antena externa (conector SMA)
  1. 50 Hz frecuencia de actualización del GPS
  2. Salida serie NEMA para OSD (On Screen Display).
- Puerto Motor con ocho salidas del controlador de velocidad
- Puerto de radio con ocho entradas de canales de radio
  1. utilizar las cuatro entradas AUX
- Dos puertos serie libres (uso para SBUS y / o Bluetooth o 3DR enlaces de radio)
- Tres puertos I2C, de los cuales dos son de 3,3 V y una es 5V
- 0.96 "Puerto OLED a bordo
- Spektrum R / C, puerto del receptor
- Puerto Servo con cinco salidas
- Puerto de alarma y el indicador LED LIPO.

## 2.16. CABLES PARA EL RECEPTOR RC

Detallaremos las características con sus especificaciones, en la figura 2.25 se mostrara mejor que es un arnés de cables con recubrimiento de malla. (RobotShop, lynxmotion, 2015).

### Descripción:

- Arnés de cableado UAV para el cable receptor RC.
- Fácilmente y con seguridad se conecta el receptor R/C a un controlador de vuelo.
- Conecta hasta 5 pines de señal y poderes del receptor al mismo tiempo.
- Estéticamente envuelto en malla negra.
- Conectores espaciados 0.1.
- Distancia entre conectores: 15cm.



Figura 2. 25: Cable con recubriendo de malla para el recepto del UAV.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

## 2.17. CABLES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA PARA EL CUADRICOPTERO.

### Descripción:

Arnés de cable de distribución de energía para el cuadricoptero (ver figura 2.26). (RobotShop, lynxmotion, 2015).



- Potencia hasta 4 ESC (controladores de velocidad electrónica) de una batería.
- Un macho y cuatro femeninas con conexiones maestras de la batería y los CES respectivamente.



Figura 2. 26: Cables de distribución de energía.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

## 2.18. CONTROL DE VUELO MWC MULTIWII PARA CUADRICOPTERO

### Descripción:

- Controlador de vuelo para cuadricoptero, que se puede cargar con el proyecto MultiWii.
- Hasta 8 ejes de salida del motor y 2 de salida del servo para la cámara
- Innovador y pequeño tamaño de tablero 36mm x 36mm
- Incluye sensores de peso ligero asequible, pequeño, y con conexión USB.

El regulador de vuelo Arduino MWC MultiWii para UAV es una placa compatible para controlar de su cuadricoptero. (RobotShop, lynxmotion, 2015).

Este controlador de vuelo está disponible para todo el mundo y es también una bonita placa Arduino IMU. Sirve para utilizarlo de varias formas ya que cuenta con sensores muy efectivos a bordo como se muestra (ver figura 2.27).

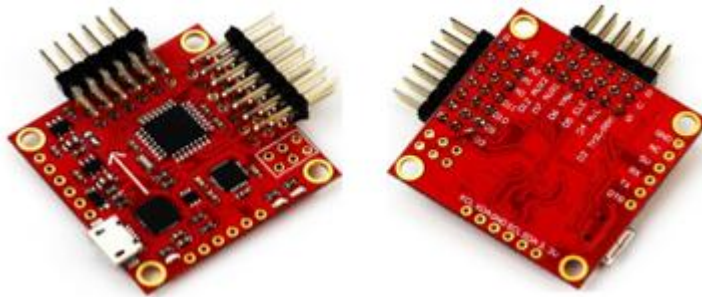


Figura 2. 27: Se muestra los dos lados de la tarjeta del control de vuelo.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### **Características:**

- Adaptable con Y3, Y4, + 4, X4,6, X6, los modos de vuelo Y6, el modo de 8 y X8 w, receptor S-PPM
- Hasta la salida del motor de 8 ejes (tienen que utilizar S-PPM RX)
- Salida 2 Servo para la cámara (sólo disponible cuando se utiliza 4 motores o menos).
- 3.3V separada y reguladores de voltaje 5V LDO.

Nota: Los controladores de vuelo MultiWii pueden ser ajustados para tener cualquier lado que mira hacia delante, los archivos pre configurados utilizan el puerto USB como el Frente y no la flecha impresa en el tablero como referencia.

### **2.19. CARGADOR INTELIGENTE DE BATERÍA (80W)**

Es un cargador y descargador para baterías especiales tiene muchas opciones de carga con sus respectivos puertos y cables para los distintos tipos de baterías, en la figura 2.28 se muestra sus puertos y cables que utiliza.



Figura 2. 28: Cargador inteligente de batería con sus respectivos cables.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### **Descripción:**

- 80W de batería universal cargador inteligente
- Cargador " Poder dual ", acepta corriente ya sea continua o alterna de entrada
- Voltaje de entrada: 11V a 15V DC o AC 100-240V
- Corriente de carga / descarga: 0,1 a 6A / 0,1 a 2A
- Carga de energía / descarga: 80W / 8W

El cargador de batería LiPo B6AC (80W), es de poder doble de carga y acepta cualquiera CC (corriente continua) o AC (corriente alterna) de entrada.

Este cargador, descargador se puede utilizar con las siguientes baterías:

- 1S - 6S LiPo / LiLo / LiFe
- 1-15 células NiMh / NiCd
- 2V ~ 20V de plomo ácido (Pb)

La tasa de carga y la velocidad de descarga dependen de la tensión de la batería

## 2.20. PAR DE HELICES (10-4.5)

Como ya todos saben, las hélices van en cada uno de los motores del cuadricoptero que en este caso utilizaremos 4 y son diseñadas específicamente para este UAV que manipularemos, sirve para optimizar el consumo de energía y la impulsión.

En este kit incluye 4 hélices y 8 anillos elásticos como se muestra en la figura 2.29 que sirven para facilitar el montaje.

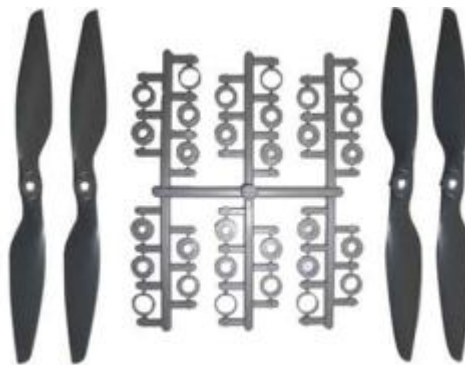


Figura 2. 29: Kit de hélices de plástico para el cuadricoptero.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### Descripción:

- Kit de la hélice de plástico para cuadricoptero
- 2 pares de hélices que giran en sentido contrario
- Incluye adaptadores de eje de 1/8 ", 4 mm, 5 mm, 6 mm, 5/16"

Hecho de plástico durable este Kit de hélice 10x4.5 se destina a ser utilizado con Cuadricopteros. Los adaptadores encajan todos los propulsores eléctricos delgados con diámetros de 8mm

### Especificaciones:

10x4.5 Multi-rotor hélice.

- Eje: 0,65 pulg de diámetro.
- Espesor Hub: 0,35 pulg.
- Diámetro del eje: 1/4 pulg
- Peso hélice: 0,53 oz 10x4.5 Multi-rotor hélice (hacia la izquierda Rotación)

- Hub Diámetro: 0,65 pulg.
- Espesor Hub: 0.35 en • Diámetro del eje: 1/4 pulg
- Peso hélice: 0,53 oz.

## 2.21. MOTOR SIN ESCOBILLAS MODELO MT2216 900Kv

El motor sin escobillas del UAV (ver figura 2.30), modelo MT2216 900Kv viene con mayor nivel de rodamiento para mejorar la vida del motor. Puede completar de 60 a 80 horas de vuelo. El apretado y diseño es profesional, en comparación con los motores de devanado sueltos. Este motor tiene una eficacia más alta.



Figura 2. 30: Motor sin escobillas modelo MT2216 900Kv.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### Descripción:

- 900KV UAV sin escobillas del motor MT2216
- La mejor opción para actualizar F450, motor original F550
- Máxima eficiencia actual: (5-17A) > 80%
- Resistencia interna: 135mΩ.

### Características:

- Aplicaciones para todos los apoyos
- La promoción de la carga útil adicional
- Proteja su seguridad de vuelo.
- potencia máxima continua 280W • 180S.

### Dimensiones:

- Tamaño del Motor (diámetro x longitud):  $\Phi 27.8 \times 34$  mm

- Diámetro Estator: 22 mm
- Longitud del estator: 16 mm
- Diámetro del eje: 4 mm
- Peso (g): 75g

En la figura 2.31 se detallara mejor sus dimensiones.

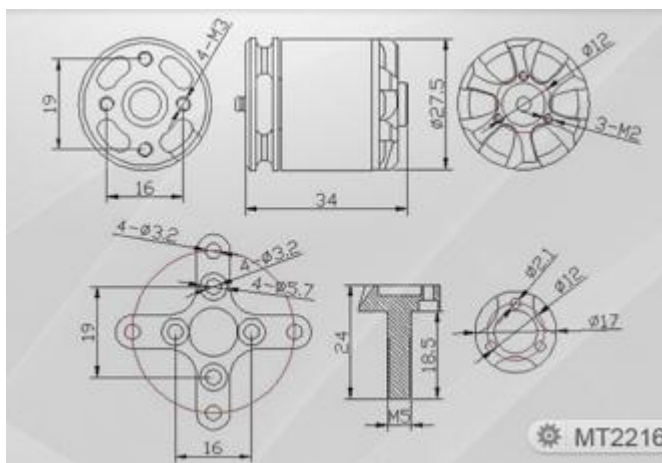


Figura 2. 31: Las dimensiones del motor sin escobillas.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

Tabla 2. 1: Resultado de motores trabajando a diferentes voltajes

Item. No.	Volts (V)	Prop	Acelerador	Amps (A)	Watts (W)	Empuje (G)	RPM	Eficiencia (G/W)	Temperatura de operación (°C)
MT2216 KV900	11,1	T-MOTOR 10*3,3CF	50%	2,8	31	300	5200	9,68	38
			65%	3,7	42	360	5700	8,57	
			75%	4,7	53	420	6300	7,92	
			85%	6,2	69	520	6900	7,54	
			100%	7,4	81	600	7400	7,41	
		T-MOTOR 11*3,7CF	50%	3	35	350	4900	10	40
			65%	4,4	50	420	5400	8,4	
			75%	5,7	64	530	5900	8,28	
			85%	7,3	82	630	6500	7,68	
			100%	8,9	98	720	7000	7,35	
	T-MOTOR 12*4CF	50%	3,5	41	420	4200	10,24	43	
		65%	5,8	65	560	5000	8,62		
		75%	7,8	86	680	5450	7,91		
		85%	10	110	820	5900	7,45		
		100%	12	129	920	6350	7,13		
14,8	T-MOTOR 9*3CF	50%	3,4	52	370	7000	7,12	46	
		65%	4,4	65	410	7800	6,31		

			75%	5,3	79	470	8500	5,95	
			85%	7,4	108	610	9300	5,65	
			100%	8,5	126	700	10000	5,56	
		T-MOTOR 10*3,3CF	50%	4,1	62	460	6500	7,42	50
			65%	5,6	84	570	7300	6,79	
			75%	7,1	106	690	7900	6,51	
			85%	9,5	139	830	8600	5,97	
			100%	11,2	165	940	9300	5,7	

Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015)

## 2.22. CONTROLADOR DE VUELO ELECTRONICO (ESC)

El Multirotor ESC de 30A. (Con conectores) está hecho a medida para proporcionar un montaje fácil y rápido en el cuadricoptero porque vienen soldado sus cables como se muestra en la figura 2.32.



Figura 2. 32: Controlador electrónico de vuelo (ESC), marca: Lynxmotion.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### Descripción:

- Control electrónico de velocidad para motores sin escobillas
- Ideal para 2-4S LiPo y 6-12 NiMH
- Alta velocidad SimonK firmware para Multi rotores.
- Alta: 30A (continua), 40A (ráfaga).

### Especificaciones:

- Conectores maestros para la entrada de alimentación
- Conector hembra de 4 mm de bala en los cables del motor

- 200mm cables de señal largos con conexión a JR (servo)
- 125mm cables de alimentación
- Cables de motor de 35 mm.

**Dimensiones:**

- Tamaño: 56mm x 25mm x 8mm.
- Peso: 27g.

**2.23. SISTEMA DE RADIO CONTROL DE 5 CANALES**

El Sistema de Radio Canal Spektrum DX5e 5 que se muestra en la figura 2.33, incluye el canal como transmisor y un receptor de canal AR600. El controlador tiene 4 canales proporcionales separados, y un solo interruptor HI / LO. Perfecto para el control de un cuadricoptero.



Figura 2. 33: Control remoto modelo Spektrum DX5e 5.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2014).



## **CAPITULO 3: MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL CUADRICOPTERO**

### **3.1. MONTAJE DE PLATAFORMA DEL CUADRICOPTERO**

En esta sección se procede con el montaje del cuerpo del cuadricoptero V-tail 500, su estructura consta de brazos, cola y su cuerpo como parte principal o columna del dron.

### **3.2. TREN DE ATERRIZAJE (X3).**

Primero empezamos armando el tren de aterrizaje, viene con 3 marcos y sus tornillos hexagonales para mayor seguridad de agarre como se muestra en la figura 3.1.



Figura 3. 1: Partes y tornillos en su posicionamiento de ensamblaje.  
Fuente: (Robotshop).

Una vez colocados los tornillos hexagonales en su lugar procedemos a apretarlos para que queden armados y separados como se encuentra en la figura 3.2.



Figura 3. 2: Tren de aterrizaje armado y listo para unirse al cuerpo (x3).  
Fuente: (Robotshop).

### 3.3. BRAZOS DELANTEROS (x2).

Los brazos o alas de nuestro cuadricoptero, son una de las partes más importantes ya que estas son las que van a sostener los rotores de gran potencia que permitirán elevarse al vehículo. Los brazos llevan sus tornillos y separadores que permitirán que haya un espacio para que puedan pasar los cables de comunicación y corriente por en medio del cuerpo del armado del cuadricoptero (ver figura 3.3).



Figura 3. 3: Ubicación de los tornillos y separadores hexagonales.  
Fuente: (Robotshop).

### 3.4. BRAZO PARTE DE ENCIMA (x2).

Todas las partes del cuadricoptero lleva sus tornillos y separadores hexagonales, el armado y buen funcionamiento dependerá de que se coloquen correctamente sus tornillos en los lugares que pertenecen. (Ver Figura 3.4)



Figura 3. 4: Brazos posteriores del cuadricoptero.  
Fuente: (Robotshop).

### 3.5. COLA TRASERA

La correcta rotación, balance y estabilidad de vuelo del cuadricoptero depende de su cola, esta es la que le dará dirección al vehículo. Es necesario ajustar y colocar bien los tornillos y separadores hexagonales evitando que algún marco quede desviado o abierto lo cual dificultaría la estabilidad del cuadricoptero en pleno vuelo (ver figura 3.5).



Figura 3. 5: Armado de la cola trasera del cuadricoptero.  
Fuente: (Robotshop).

Una vez bien puestos y ajustados los tornillos y los separadores de seguridad, quedara lista nuestra cola para ser unida al resto del cuerpo del cuadricoptero como se muestra en la figura 3.6.



Figura 3. 6: Cola trasera terminada.  
Fuente: (Robotshop).

### 3.6. BRAZO TRASERO O COLUMNA

El brazo trasero hace que se una la cola con el cuerpo principal del quadricoptero, el marco superior e inferior como se ha observado en las otras partes debe ir correctamente ajustado con sus tornillos y separadores (ver figura 3.7).



Figura 3. 7: Brazo trasero del quadricoptero.  
Fuente: (Robotshop).

Una vez tengamos los sujetadores puestos en el marco inferior, podremos colocar la cola, sujetarla con el marco superior y ajustarlo con sus respectivos tornillos, quedara lista para ser unida al cuerpo principal como muestra la figura 3.8.



Figura 3. 8: Brazo y cola trasera unidas  
Fuente: (Robotshop).

### 3.7. CUERPO PRINCIPAL

La última sección del montaje del cuerpo del quadcoptero modelo V-tail 500, es la unión completa de todas las partes como: tren de aterrizaje, brazos delanteros, cuerpo principal, brazo trasero y cola trasera para que todo conforme un solo cuerpo (ver figura 3.9).



Figura 3. 9: Unión de todas las partes del quadcoptero.  
Fuente: (Robotshop).

Una vez colocado cada tornillo en su lugar, cada separador en la distancia correcta de su marco superior o inferior y unido todas las partes del quadcoptero quedaran listo para pasar al siguiente nivel que es la implementación de la parte electrónica. (Ver Figura 44).



Figura 3. 10: Armado completo del cuerpo del quadricoptero modelo V-tail 500.  
Fuente: (Robotshop).

### 3.8. INSTALACION DE MOTORES (X4).

Luego que todas las partes del cuerpo del quadricoptero fueran unidas y ajustadas, se procederá a la instalación de motores Brushless, los cuales deberán ser colocados en los orificios a los extremos de los brazos como aparece en la figura 3.11, gracias a su buen apretado de bobinas y diseño de fábrica no se necesitan ser calibrados, el promedio de duración de estos motores es más largo que unos motores comunes.



Figura 3. 11: Instalación de motor brushless en el quadricoptero.  
Fuente: Autores.

La posición de los motores en la estructura del quadricoptero está dado según como se encuentra los orificios a los extremos de sus brazos, una vez que se hayan terminado de colocar los 4 motores quedara como se muestra en la figura 3.12, con los dos motores delanteros en posición hacia arriba y los dos motores de cola en posición hacia abajo que servirá para darle una mejor dirección de vuelo al vehículo. Para que el quadricoptero no sufra

ninguna inestabilidad de vuelo, hay que ajustar bien los tornillos y revisar que los motores no queden desviados o abiertos de su marco de base.



Figura 3. 12: Montaje de los 4 motores brushless en el cuadricoptero.  
Fuente: Autores.

### **3.9. INSTALACION DEL CONTROLADOR ELECTRONICO DE VELOCIDAD (ESC).**

La calidad o buena presencia del cuadricoptero en su parte estética, dependerá de cada persona y de la forma en como le instale las partes y le ordene los cables de las próximas piezas a instalar.

El controlador de vuelo una de las partes más importantes para el control de velocidad de los motores, viene con 3 cables de un lado con conectores hembras que serán unidos con los cables del motor que harán de pase de corriente y comunicación y control de los motores, en el otro extremo del ESC tenemos un conector a la batería y a la tarjeta multiwii de controlador de vuelo.

La longitud de los cables de los motores y del controlador de velocidad son un poco extensas, por lo que hay que jugar con los espacios que tenemos entre los marcos de su estructura, pasarlos por en medio de ellos y buscar la manera de que queden bien ubicados y visualmente más estético. (Ver Figura 3.13)



Figura 3. 13: Instalación del controlador electrónico de velocidad (ESC).  
Fuente: Autores.

Terminado la instalación de los 4 controladores de velocidad (uno por motor), nos quedara de la manera en que se muestra en la figura 3.14, en donde hemos jugado con los cables y los espacios que nos brindan los marcos de la estructura para poder armar y dejar bien acomodados los cables para unirlos a las siguientes partes como tarjeta multiwii, batería y gps.



Figura 3. 14: Instalación de los 4 ESC con los motores.  
Fuente: Autores.

Cada ESC tiene un cable bifilar (rojo y negro) de energía que es conectado directamente a una batería LiPo que se encarga de alimentar a todos los motores y controladores, sin necesidad de instalar baterías para cada uno.



### 3.10. CABLE DE DISTRIBUCION DE ENERGIA

Este cable tiene la condición de servir de 4 en 1, como empalme para conectar cada controlador electrónico de velocidad (ESC) a la batería principal, como se muestra en la figura 3.15.



Figura 3. 15: Conexión de cables de energía con el cable de distribución.  
Fuente: Autores.

La conexión de los cables de los controladores de velocidad con los de distribución es algo compleja y resulta un tanto dificultosa, ya que trae dos patas un horizontal y otra vertical que deben ser embonadas con fuerza con su conector hembra.

Finalmente que se conectó cada cable del ESC con el cable de distribución de energía que va a la batería estará listo para conectarlo a la fuente de energía principal, como se muestra en la figura 3.16.



Figura 3. 16: Cables de alimentación se conecta a cada ESC.  
Fuente: Autores.

### 3.11. INSTALACION CONTROLADOR DE VUELO MULTIWII

El espacio central del cuerpo principal, esta designado para colocar las tarjetas y otros dispositivos electrónicos del quadcoptero, en este caso colocaremos la tarjeta de control de vuelo multiwii (ver figura 3.17).



Figura 3. 17: Adaptación de tarjeta multiwii en estructura de quadcoptero  
Fuente: Autores

La colocación de separadores de base es uno de los primeros pasos para poder poner la tarjeta, los 4 separadores deben ser ubicados en los orificios centrales del marco del quadcoptero, y ajustados sus tornillo hexagonales con su respectiva llave (ver figura 3.18), la presión del tonillo a la tarjeta no deberá ser tan fuerte así evitaremos que la placa se rompa.

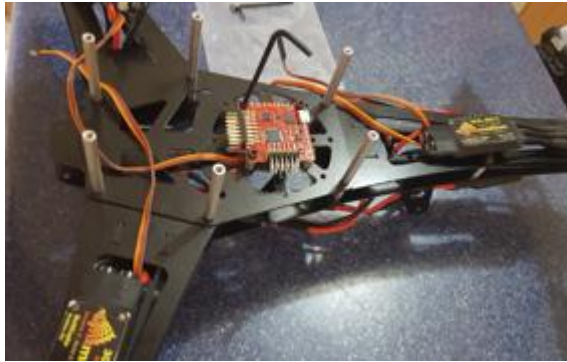


Figura 3. 18: Ajuste de tornillos hexagonales en placa multiwii  
Fuente: Autores

La tarjeta multiwii debe ser colocada con los pines principales hacia adelante, para facilitar la conexión de los cables a la tarjeta, estos son los que van conectados con los controladores electrónicos de velocidad, los pines que están ubicados a un lado de la tarjeta son para conectarse con el GPS, esta no es una parte fundamental para el vuelo del cuadricoptero pero si vamos a hacer mediciones de altitud y a obtener datos de navegación y posicionamiento es la pieza más importante a utilizar.

No está de más recordar que para que el cuadricoptero no sufra percances de inestabilidad de vuelo, poner los cables en una posición que no vaya a molestar a los motores ni a las hélices al momento de hacer maniobras en el aire, lo peor que podría suceder es que se enreden los cables en pleno vuelo y se dispare al piso en caída libre nuestro dron en donde podría sufrir daños irreparables en su estructura o aún más importante sus motores o tarjetas de control de vuelo. (Ver Figura 3.19)



Figura 3. 19: Tarjeta multiwi colocada en la infraestructura del dron

Fuente: Autores.

### **3.12. INSTALACIÓN DE BATERÍA**

El lugar más lógico para la instalación de la batería es debajo del cuadricoptero como se ve en la figura 3.20. Centrada para evitar que el peso de la batería lo haga inestable mientras lo hacemos volar, hay que hacer mantener su punto de equilibrio para que no se desestabilice en el despegue, para asegurar la batería le colocamos una abrazadera amarrada a la estructura del UAV.



Figura 3. 20: Instalación de la batería y el cuadricoptero.

Fuente: Autores.

### **3.13. CONEXIÓN DE LOS CONTROLADORES DE VELOCIDAD CON EL CONTROLADOR DE VUELO O TARJETA MULTIWIII**

Antes de instalar los cables de los 4 controladores a la tarjeta multiwii, a 3 de ellos se le debe desconectar el cable color rojo como se muestra en la figura 3.21, solo a 1 controlador quedara conectado el cable rojo, que es la que proporcionara 5VCC y alimentara a la tarjeta multiwii, una vez hecho y desconectados los cable de corriente procedemos a conectarlos con la tarjeta principal (ver figura 3.22).



Figura 3. 21: Cables rojos de los ESC retirados, solo queda 1 con el cable rojo.  
Fuente: Autores.

Conecte los CES al controlador de vuelo, asegurando el pasador de señal amarillo está en la cima.

Para este modelo de Quadcopter utilizamos este orden:

- Frontal izquierdo ESC> D3
- Trasera derecha ESC> D9
- Frontal derecho ESC> D10
- Trasera derecha ESC> D11



Figura 3. 22: Cables de los CES en la tarjeta multiwii.  
Fuente: Autores.

Una vez más, el controlador de vuelo debe ser montado en el bastidor con el puerto USB hacia la parte frontal del UAV para asegurar la orientación de los sensores es correcta.

El proceso de conexión de los cables se deberá hacer con la batería desconectada para evitar alguna subida de tensión y pueda dañar la tarjeta, a los cables desconectados se deberá poner cinta aislante para evitar que se tope con algún pin u otro cable suelto y provoque un corto.

Luego de que se haya conectado los cuatro controladores se deberá verificar que estén en el orden correcto para luego proceder con la conexión del receptor de señales, en este caso el otro lado de la tarjeta donde están los pines sin conectar, para facilitar la conexión de los cables, en la parte trasera de la tarjeta encontrara escrito los nombre de cada uno de los pines (ver figura 3.23).

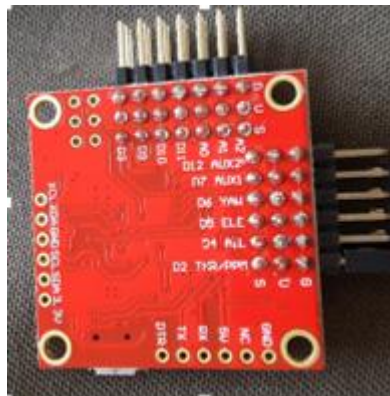


Figura 3. 23: Tarjeta multiwii, con sus pines y numeraciones.  
Fuente: Autores.

El receptor no pesa mucho, pero es importante que sea asegurada al marco. Centrar el receptor lo largo del marco siempre es ideal, aunque la mayoría de las veces esto necesita el controlador de vuelo para ser colocado. Sugerimos el receptor sea fijado a una placa superior o justo en frente del controlador de vuelo utilizando envolturas.

Una vez verificado el orden y numeraciones, conectamos los cables del RC a su dispositivo como se muestra en la figura 3.24, el receptor consta de dos antenas, que son dos cables de diferentes tamaños, al momento de conectar la tarjeta multiwii con el receptor se debe hacer con mucho cuidado, ya que las antenas fácilmente se pueden arrancar o desoldar por la fricción y presión que se hace al conectar los otros cables a sus pines.



Figura 3. 24: Conexión entre el RC y la tarjeta multiwii.  
Fuente: Autores.

### 3.14. ORIENTACION DE LAS HELICES

En un vtail 500, las dos hélices traseras necesitan ir empujando el aire hacia abajo. Por lo tanto, a pesar de que el motor es al revés, la hélice debe tener la parte superior hacia arriba. (Ver Figura 3.25)

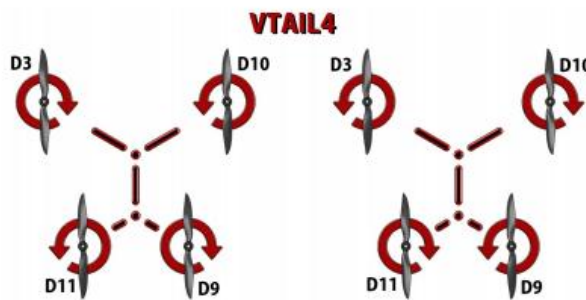


Figura 3. 25: Numeración y dirección de las hélices, modelo V-tail 500.  
Fuente: (Lynxmotion, Robotshop, 2015).

### 3.15. Receptor Ejemplo (Canal - Función):

- CH1 alerones
- CH2 Ascensor
- CH3 acelerador
- CH4 Timón / guiñada
- CH5 ... Otros canales, si están disponibles, son establecidos por el emisor para auxiliar.

En la figura 3.26 se muestra los diferentes canales del receptor.



Figura 3. 26: Diferentes canales y función del receptor.  
Fuente: Autores.

Para comunicarnos contamos con un control remoto modelo SPEKTRUM 5, que es muy bueno para este tipo de cuadricoptero ya que viene con 4 canales.

La tarjeta multiwii ha sido creada para trabajar con el software Arduino. Conectar correctamente el USB a su conector en serie, esto permite a su ordenador reconocer y comunicarse con el MultiWii MPU6050. Cuando está conectado a la computadora se configura la instalación de software para compilar la programación en la tarjeta, lo único que se debe hacer es seguir los pasos de instrucción que se descarga en la página oficial [www.lynxmotion.com](http://www.lynxmotion.com), se descarga el software y la codificación, se instala el programa y se abre el archivo multiwii.ini donde saldrá toda la codificación de fábrica y diseñada para este tipo de cuadricopteros, (ver figura 3.27).



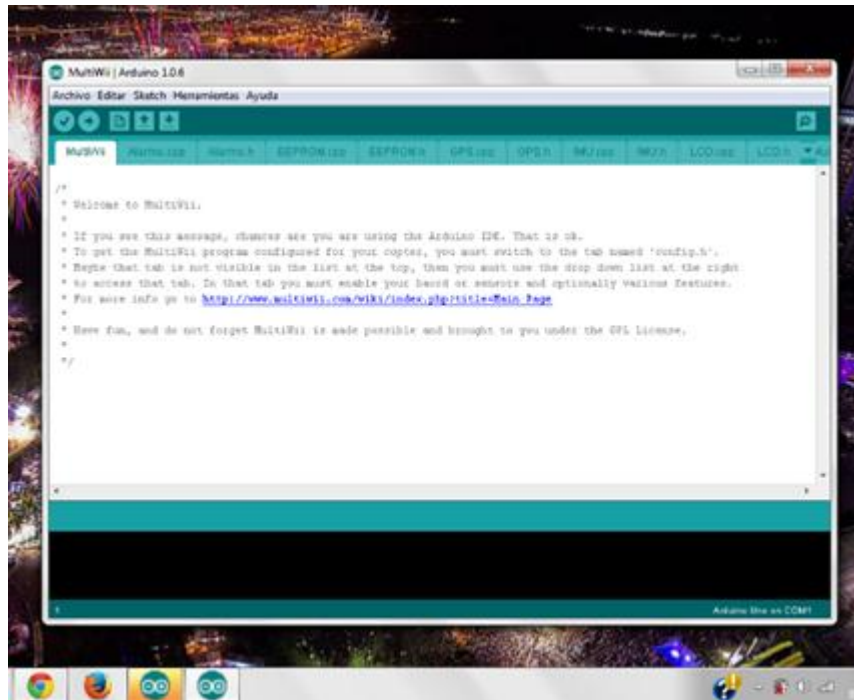


Figura 3. 27: Interfaz del software arduino con la programación para la tarjeta multiwii.

Fuente: Autores.

Terminado la compilación de la programación con el arduino, se va al simulador llamado multiwii.conf, aquí se podrá verificar que todos los controles y dispositivos de la tarjeta funcionen correctamente figura 3.28.

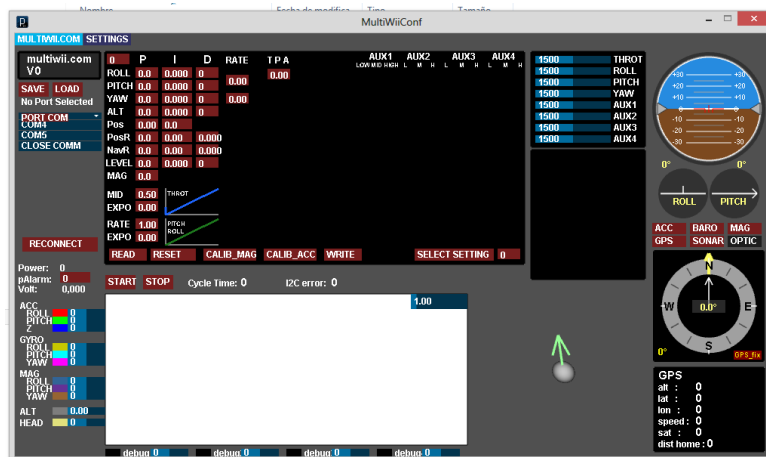


Figura 3. 28: Simulador de pruebas del software arduino al cuadricoptero

Fuente: Autores.

La revisión de controles en el simulador, nos permitirá verificar que todos los mandos como motores, gps, barómetro, acelerómetros, etc, funcionen y estén aptos para nuestro cuadricoptero emprenda el vuelo.

Verificación de orientación, conecte el MultiWii al ordenador y abrir la interfaz gráfica de usuario (como se explica en la Guía Lynxmotion MultiWii de inicio rápido). Sostenga el UAV en la mano y moverlo y ver el modelo 3D para confirmar que se está moviendo correctamente, como muestra en la figura 3.29.

Para terminar, colocamos los pernos y ordenamos los cables para que la estética se vea bien, como se muestra en la figura 3.29, en donde ya todo está listo para funcionar y dar su primer vuelo.



Figura 3. 29: Terminado el cuadricoptero V-tail 500.

Fuente: Autores.

### **3.16. PASOS ASEGUIR PARA LA INSTALACION Y COMPILACION DE LA TARJETA QUADRINO NANO.**

1. Descargar e Instalar Herramienta de configuración del firmware:  
Herramienta de configuración del firmware (FCT).
2. Cree un Perfil:

Crea tu Perfil helicóptero para permitir la configuración de múltiples helicóptero para ser salvo y recordar cuando sea necesario. Todas opciones se guardarán en ese perfil.

3. Seleccione MultiWii Versión:

Seleccione la última versión MultiWii a menos que tenga buenas razones para utilizar uno menos actual.

4. Seleccione Quadrino modelo:

Como nos apoyamos los modelos más antiguos de Quadrino, es necesario seleccionar la versión que está utilizando.

5. Configuración El helicóptero:

En la página Copter, ajustar los valores para que coincida con el modo de helicóptero y el estilo de vuelo. Esto generará el PID de valores y les cargan a la tarjeta después de que el proceso termine.

6. Seleccione las opciones:

Elija las opciones adicionales necesarias para su aplicación en particular.

7. flash del Quadrino:

Flashear el firmware a la Quadrino. Al dar click al botón de actualización del firmware, se recopilarán las opciones y se subira a la Quadrino.

8. Instalar / Start WinGUI:

Instalar e iniciar el software WinGUI para continuar con la instalación a bordo. (MultiWiiConf sigue estando disponible para instalar y utilizar, pero no con el apoyo de Lynxmotion)

### 3.17. CONTROL DE VUELO QUADRINO NANO CON GPS

La tarjeta controladora es muy útil para este modelo de cuadricoptero, es muy pequeña y viene integrado gps, barómetro, acelerómetro, magnetómetro, que son importantes para dar al UAV mayor control de su posición, coordenadas, angulo y ubicación de vuelo.

Cada fabricante de radio control RC implementa su propia asignación de canal para sus receptores por lo que necesita para hacer referencia a la configuración de su transmisor para saber qué canales están asignados y a que funciona. En la figura 3.30 se muestra la asignación y conexión de cableado correcta. El arnés de cableado del receptor del Quadrimo incluye conexiones individuales a fin de ser compatible con cualquier RC transmisor / receptor.

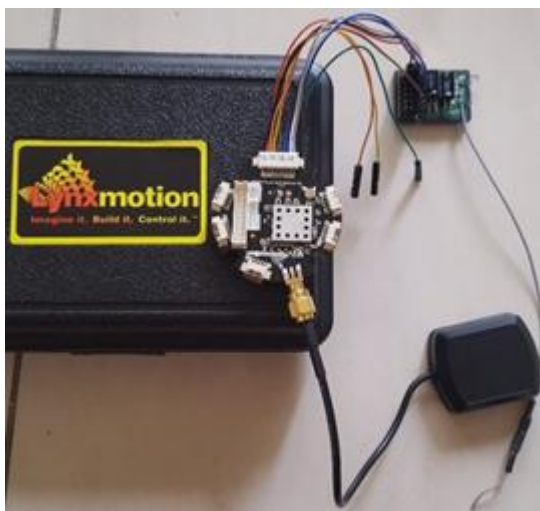


Figura 3. 30: Conexión de la quadrimo nano al receptor.  
Fuente: Autores.

Cada uno de los CES necesita ser conectado a la Quadrimo Nano. Uno de los CES será el alimentador del controlador de vuelo, con su regulador de tensión interna, por lo que sólo uno de los conectores de los CES tiene los tres cables (GND / + 5V / señal) y los demás sólo tienen el cable de señal como se muestra en la figura 3.31.



Figura 3. 31: Conexión de la quadrino a cada uno de los CES de los motores.  
Fuente: Autores.

La tarjeta la instalamos en la parte superior de la estructura del quadricoptero, ubicada en el centro del mismo para que los cables den correctamente, como se muestra en la figura 3.32. El gps se lo coloca a lado de la tarjeta tratando de dejarlo en un lugar fijo y evitando que se mueva o se balancee de un lugar a otro.

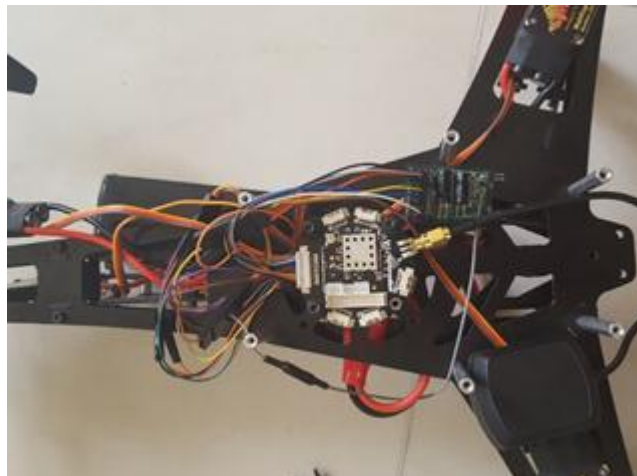


Figura 3. 32: Quadrino nano con sus conexiones de CES y del Rc.  
Fuente: Autores.

La programación de la tarjeta la puede descargar en la página, la herramienta de configuración Quadrino Firmware es la que se descarga, se la instala y se mostrara de la siguiente forma como se ve en la figura 3.33.



Figura 3. 33: Configuración de la tarjeta Quadriano nano.  
Fuente: Autores.

El Quadriano es fácil de utilizar con la "Herramienta de configuración del firmware (FCT)", es un software libre que elimina la necesidad de modificar el código, desarrollado por Arduino.

Esta aplicación intuitiva guiará a través de todo el proceso de creación del controlador de vuelo mientras que proporciona una gran cantidad de documentación sobre las distintas opciones y parámetros disponibles. (Ver Figura 3.34).

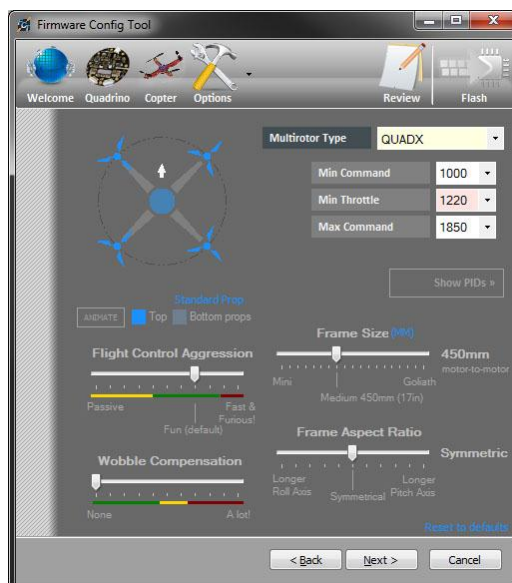


Figura 3. 34: Diferentes opciones que brinda la configuración firmware de Quadriano.  
Fuente: Autores.

Cuando se haya terminado el proceso de seleccionar las opciones de esta herramienta, recopilará la información y luego cargamos el firmware personalizado directamente a su Quadriano Nano, como se ve en la figura 3.35.



Figura 3. 35: Flasheando la información al controlador Quadriano Nano.  
Fuente: Autores.

Adicional, también se instalará la configuración GUI MultiWiiConf o WinGUI como se ve en la figura 3.36. Sirven para calibrar y comprobar que los mandos del cuadricoptero funcionan correctamente, es importante verificar que todas sus partes funcionen y estén habilitadas, empezando por el gps, barómetro, magnetómetro y acelerómetro que ayudan al cuadricoptero a tener una buena lectura de vuelo y posicionamiento en el aire y luego se comprueba el ajuste del control remoto para que reciba la señal correcta.



Figura 3. 36: Muestra las 2 opciones para comprobar que todo este correcto.  
Fuente: Autores.

Para terminar, se verifico en el simulador que todo funcione, ponemos los tornillos faltantes, las hélices con sus colores en su posición, como se muestra en la figura 3.37, ahora si podrá dar su primer vuelo.



Figura 3. 37: Terminado el armado del cuadricoptero con la tarjeta Quadriano nano.  
Fuente: Autores.

Para cargar la batería del cuadricoptero, se deberá utilizar el cargador inteligente que servirá para este tipo de baterías, viene con varias funciones, pero la que se utilizara es la del modelo de la batería que viene incluida en el UAV, que es una batería Lipo de 3.8 mili Amperios como se muestra en la figura 3.38.





Figura 3. 38: Cargando batería Lipo de 3.8 mA.  
Fuente: Autores.

### 3.18. VERIFICACIÓN PRE-VUELO

En este punto, se deben hacer todas las conexiones en el UAV (a excepción de la batería). Los siguientes pasos le ayudarán a prepararse para el primer vuelo. El transmisor se debe apagar. Si eres nuevo en multi rotores, es importante tener en cuenta que a pesar de sus mejores esfuerzos, es muy probable que usted se estrellará en sus primeros intentos.

La estructura es bastante resistente, y aunque es posible que romperá algunos accesorios, hay repuestos incluidos en el kit, y se pueden adquirir por separado (y son muy baratos). También hay kits de choque disponibles en caso de que romper algunos de las placas G10.

Tabla 3. 1: Presupuesto para la implementación del dron.

Cuadricoptero - Marca: Lynxmotion - Modeto: V-tail 500			
Cant.	Producto	Precio /U	Total
1	Control de vuelo Quadrino Nano (con GPS)	\$ 159,99	\$ 159,99
4	Motor sin escobillas 22x16 900kv	\$ 64,90	\$ 259,60
4	Controlador de de vuelo electronico (ESC), 30 A.	\$ 39,90	\$ 159,60
6	Helices 10 x 4.5	\$ 10,99	\$ 65,94
1	Cable de distribucion de energía	\$ 11,25	\$ 11,25
1	Control de vuelo Arduino, Multiwii MPU6050	\$ 35,99	\$ 35,99
1	Cable micro USB 120cm	\$ 4,90	\$ 4,90
1	Estructura del cuadricopter V-tal 500	\$ 159,90	\$ 159,90

1	Cable de Rc a tarjeta Multiwii	\$ 4,99	\$ 4,99
1	Sistema de radio de 5 canales,Modelo: Spektrum DX5e	\$ 135,95	\$ 135,95
1	Batería Lynxmotion 11.1V 3800mAh 3S 30C LiPo	\$ 70,90	\$ 70,90
1	Cargador universal inteligente 80W	\$ 90,90	\$ 90,90
TOTAL			\$ 1.159,91

## **CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

Los avances tecnológicos es un tema normal de la actualidad, dando pasos gigantescos, causando nuevas y emocionantes experiencias a los seres humanos, uno no termina de conocer un gadget o aparato que nos sorprenda con su tecnología que a al mes está saliendo uno mejor y más avanzado. Son muchas cosas que se han desarrollado, e infinito los usos que podemos darles, pero ahora llama mucha la atención el nuevo concepto que se le dio a los drones.

Los cuadricopteros son empleados para diversas aplicaciones y funciones, dependiendo su modelo y uso, su valor aumentara en el mercado, existen mucha variedad de ellos ya sea por su forma, tamaño o función que cumpla. Estas máquinas conocidas como drone o UAV, han logrado una enorme popularidad en el mercado, el hecho de controlar y manipular un aparato volador, causa una emocionante sensación en las personas.

El control de estabilidad y correcto funcionamiento de los motores viene estipulado en la programación, al descargar el programa nos damos cuenta que la tarjeta controladora de vuelo trabaja bajo el sistema Arduino, que es el que compilara la información y la introducirá a la tarjeta para poder tener el manejo y control de los 4 rotores.

El cuadricoptero y toda su infraestructura quedaran a disposición de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo y sus estudiantes, para que pueda ser usado en los diferentes concursos que se realicen.

El cuadricoptero marca, Lynmotion, modelo V-tail 500 es muy complicado de manejar, hay que hacer muchas practicas antes de volar este

cuadricoptero ya que si no lo sabemos controlar podemos hacerlo chocar y que se dañe alguna de sus partes, una vez revisado en el simulador que todas sus partes principales como motores y los datos de barómetro, acelerómetro, gps estén bien calibrados podemos iniciar las pruebas de vuelo. El cuadricoptero se desempeña bien en ambientes cerrados y en ambientes abiertos cuando hay fuertes vientos es capaz de hacer maniobras a altas velocidades.

La duración de la batería es de aproximadamente 21 minutos en un vuelo normal, pero cuando se hace maniobras de velocidad donde se aumenta la potencia de los motores, puede descender esta y estar por debajo del tiempo y agotarse en 18 minutos, tiene un alcance de no más de 30 metros y los motores pueden alcanzar unos 5000 RPM como promedio.

La implementación del cuadricoptero es motivar el interés de los estudiantes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a investigar y participar en las áreas de robótica en la categoría de drones, los planos, medidas y características de cada una de sus partes y funciones quedaran a disponibilidad de todos los estudiantes, con el fin de que puedan tomar como referencia el modelo del cuadricoptero y armar uno ellos con materiales reciclables o prefabricados, con las mismas características o con nuevas partes que quieran agregarles.

El fin es dejar que fluya la imaginación, todos sabemos que nada sería posible si antes no lo imaginamos.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

Sólo toque los componentes electrónicos cuando la batería ha sido desconectada. Aunque la batería utilizada es de baja tensión, estas descargan un alta porcentaje de corriente, y como tal, si llegamos a tocar

tanto el cable rojo como el negro mientras está en uso, recibiríamos un significativo golpe de corriente (40 amperios o superior).

Todos los cables largos deben ser atados y con cinta adhesiva a la estructura para que no se enreden en las cuchillas.

Ubicación y las condiciones climáticas son muy importantes a pesar de su mejor esfuerzo.

Los dispositivos electrónicos son muy delicados, tener mucho cuidado al momento de conectar o unir las piezas, los conectores de los cables son muy pequeño y por tal motivo muy delicados y pueden llegar a romperse si se los saca con fuerza, o doblar algún pin si lo introducimos mal, se recomienda leer bien la guía de usuario antes de manipular cualquier parte del cuadricoptero, ajustar bien los tornillos hexagonales para evitar que se salgan de lugar sus partes y funcione correctamente.

Si antes de tener toda nuestra estructura del drone bien armada y conectada queremos hacer alguna prueba y tenemos desconectadas nuestras tarjetas, es recomendable no ponerlas sobre una superficie metálica, porque sus pines pueden tocar y hacer corto circuito al momento de conectarlo con la batería.

Cuando todo esté listo y los cables bien conectados a los pines de la tarjeta y estos a la del receptor, se procede a conectar la batería, si se lo hace antes podría hacer algún corto circuito con la tarjeta controladora y dañarla porque son componentes muy sensibles.

## REFERENCIAS

- Arduino. (2011). *verkstad*. Obtenido de verkstad:  
<http://madrid.verkstad.cc/es/course-literature/que-es-arduino/>
- Aviastar. (s.f.). Obtenido de Aviastar:  
[http://www.aviastar.org/helicopters\\_eng/breguet\\_gyro.php](http://www.aviastar.org/helicopters_eng/breguet_gyro.php)
- Barcia, O. (2013). *orlandobarcia*. Obtenido de orlandobarcia:  
<http://www.orlandobarcia.com/software-simulador-para-probar-arduino-sin-la-tarjeta-real/>
- Bernal, M. R. (2013). *ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES*. Obtenido de ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES:  
<file:///C:/Users/Andrea/Downloads/pfc5427.pdf>
- Chamorro, W. (2013). *Ensamblaje y control de un cuadricoptero*.
- CIRIZA, J. M. (2015). *fenecom*. Obtenido de fenercom:  
<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom-2015.pdf>
- Diaz, C. A. (junio de 2013). *usfq*. Obtenido de usfq:  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1665/1/106531.pdf>
- DYNAMICS, I. (2012). *DYNAMICS S.L.* Obtenido de DYNAMICS S.L.:  
[http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones\\_y\\_usos](http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones_y_usos)
- Framework, G. (2015). *cuadricoptero*. Obtenido de cuadricoptero:  
<http://cuadricoptero.org/que-es-un-cuadricoptero/>
- Lynxmotion. (2014). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.robotshop.com/media/files/images/spektrum-5-channel-radio-system-large.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/VT5B-NE.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.robotshop.com/en/lynxmotion-hunter-vtail-500-drone-kit-hardware-only.html>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/BAT-08.jpg>

- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/QN-FC.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.robotshop.com/media/files/images2/quadrino-nano-info-top-bottom.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/WH-05.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/WH-QPH.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/jpg/RB-Lyn-812%20-%2002.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/USC-04.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.robotshop.com/media/files/images/10x45-quadcopter-propeller-kit-1-large.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.lynxmotion.com/images/product/large/BM-T03.jpg>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
<http://www.robotshop.com/en/tmotor-uav-brushless-motor-mt2216-900kv.html>
- Lynxmotion. (2015). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop:  
[http://www.robotshop.com/media/files/images2/30a-bec-multicopter-esc-connectors\\_22.jpg](http://www.robotshop.com/media/files/images2/30a-bec-multicopter-esc-connectors_22.jpg)
- Nuñez, R. (2010). *ipn*. Obtenido de ipn:  
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9717/1/12.pdf>
- Nuñez, R. (2010). *ipn.mx*. Obtenido de ipn.mx:  
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/9717/1/12.pdf>
- Olimex. (2015). *Ingeniería MCI*. Obtenido de Ingeniería MCI:  
[http://www.olimex.cl/product\\_info.php?products\\_id=1467](http://www.olimex.cl/product_info.php?products_id=1467)
- Ounae. (2013). *Ounae*. Obtenido de Ounae: <http://ounae.com/aplicaciones-usos-drones/>

- Pico, A. (2012). *cinvestav*. Obtenido de cinvestav:  
<http://www.cs.cinvestav.mx/TesisGraduados/2012/TesisAntonioPico.pdf>
- Real, C. N. (2009). *UPC*. Obtenido de UPC:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8047/memoria.pdf?sequence=8>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/c-167-vtail-500.aspx>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/c-167-vtail-500.aspx>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/p-988-111v-3s-3800mah-30c-lipo-battery-pack.aspx>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/p-1020-lynxmotion-quadrino-nano-flight-controller-with-gps.aspx>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/p-934-wiring-harness-rc-receiver-cable.aspx>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/p-937-wiring-harness-quadcopter-power-distribution.aspx>
- RobotShop. (2015). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/p-999-arduino-mpu6050-multiwii-flight-controller-wpins.aspx>
- Robotshop. (s.f.). *lynxmotion*. Obtenido de lynxmotion:  
<http://www.lynxmotion.com/images/document/pdf/VT45-KT-assembly.pdf>
- Schilling, D. R. (2015). *Industria Tap*. Obtenido de Industria Tap:  
<http://www.industrytap.com/afghanistan-deployed-palm-sized-nano-copter/1086>



Solutions, v. (2014). *Aeromodelismo*. Obtenido de Aeromodelismo:  
<http://www.aeromodelismovirtual.com/archive/index.php/t-8042.html>

theUAV. (2013). *the UAV*. Obtenido de The UAV:  
[http://www.theuav.com/predator\\_a\\_uav.html](http://www.theuav.com/predator_a_uav.html)

TV-Novosti. (2013). *actualidad*. Obtenido de actualidad:  
<http://actualidad.rt.com/actualidad/view/80396-vehiculos-aereos-tripulados-hitos-historicos>

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/predator\\_b\\_uav.html](http://www.theuav.com/predator_b_uav.html)

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/predator\\_a\\_uav.html](http://www.theuav.com/predator_a_uav.html)

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/x47a\\_x47b\\_ucas\\_uav.html](http://www.theuav.com/x47a_x47b_ucas_uav.html)

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/mariner\\_uav.html](http://www.theuav.com/mariner_uav.html)

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/altair\\_uav.html](http://www.theuav.com/altair_uav.html)

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/fire\\_scout\\_uav.html](http://www.theuav.com/fire_scout_uav.html)

Uav, T. (2013). *the uav*. Obtenido de the uav:  
[http://www.theuav.com/er\\_mp\\_uas.html](http://www.theuav.com/er_mp_uas.html)

wikipedia. (2013). *wikipedia*. Obtenido de wikipedia:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_a%C3%A9reo\\_de\\_combate\\_no\\_tripulado](https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_a%C3%A9reo_de_combate_no_tripulado)

Ar x Yc x ha x Cu x Q x te x wi x 10 x Ap x Lo x Di x ht x Fo x up x CL x ds x Lo x

← → <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8047/memoria.pdf?sequence=8> ☆

### QUADROTOR

En este capítulo se presenta la arquitectura de un sistema quadrotor, para ello se ha dividido todo el sistema en varias partes. Comenzaremos por una breve introducción a la dinámica de quadrotor para dar un enfoque práctico del funcionamiento de vuelo de dicho sistema. El segundo bloque se compone de las partes mecánicas, desde los motores hasta los sensores pasando por el sistema de procesado de información como podemos ver en la figura 2.1.

```
graph TD; subgraph ESTRUCTURA; M[Motores]; EP[Etapa de potencia]; end; subgraph COMUNICACION; T[Transmisor]; R[Receptor]; end; subgraph UNIDAD_DE_CONTROL [UNIDAD DE CONTROL]; AS[Adaptación de señal]; C[Control]; end; subgraph SENSORES; A[Acelerómetro]; G[Giroscopios]; end; B[BATERIA]; subgraph ALIMENTACION; B; end; B --- EP; B --- T; B --- R; B --- C; B --- A; B --- G; EP --- M; T --- R; AS --- C; C --- A; C --- G;
```

**Fig 2.1** Arquitectura genérica del Quadrotor

### 2.1. Dinámica

La dinámica de un sistema quadrotor se puede explicar a partir del momento de inercia de cada rotor. Cada rotor consta de un motor, un mecanismo de

6:11 12/08/2015