



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO  
TRIPULADO PARA MONITOREO DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD**

**Carlos Alejandro Reyes Pineda**

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO  
TRIPULADO PARA MONITOREO DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CARLOS ALEJANDRO REYES PINEDA**

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA MONITOREO DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 19 de agosto de 2014.



**Carlos Alejandro Reyes Pineda**

Guatemala 23 de julio de 2015

Ingeniero  
Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador del Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán,

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA MONITOREO DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD**, del señor **Carlos Alejandro Reyes Pineda**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota  
Colegiada 5,356  
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota  
Ingeniera en Electrónica  
colegiado 5356



REF. EIME 01.2016.  
Guatemala, 6 de AGOSTO 2015.

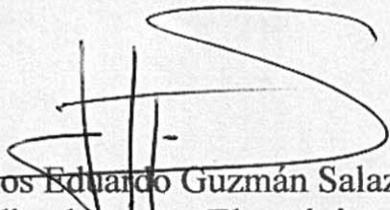
Señor Director  
Ing. Francisco Javier González López  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR  
VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA MONITOREO DE  
AMENAZAS A LA SEGURIDAD, del estudiante Carlos Alejandro  
Reyes Pineda, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica



SRO



REF. EIME 01. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; CARLOS ALEJANDRO REYES PINEDA, Titulado: SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA MONITOREO DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López

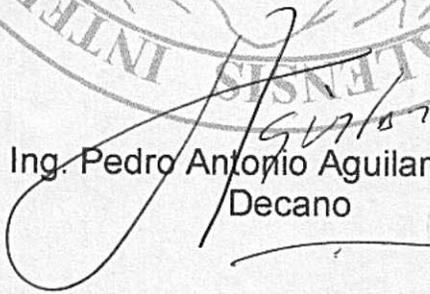


GUATEMALA, 3 DE ENERO 2016.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA MONITOREO DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alejandro Reyes Pineda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, febrero 2016

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por regalarme la vida y permitirme llegar a este punto de mi vida, dándome sabiduría, salud y fuerzas para alcanzar esta meta.
- Mis padres** Ana Gudelia Pineda Aceituno de Reyes y Carlos Enrique Reyes Pérez, por todo el apoyo incondicional brindado a lo largo de la vida, inculcándome los buenos valores.
- Mis hermanos** Luis Pedro y Ana Marcela Reyes Pineda, por la guía, ejemplo, cariño y comprensión que me han dado.
- Mi novia** Yuli Mariela Toledo Joachin, por estar presente toda mi carrera y brindarme todo su apoyo para culminar la misma.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por haberme albergado, en los años de mi carrera, en tan prestigiosa casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser fuente de inspiración para mi formación académica.
<b>Mi asesora</b>	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota, por todo su apoyo y tiempo brindado en la realización del presente trabajo.
<b>Mis tíos y primos</b>	Por el apoyo e inspiración que me dieron a lo largo de mi carrera.
<b>Mis amigos de Facultad</b>	Por hacer mi vida estudiantil más amena.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. SISTEMA DE VIGILANCIA.....	1
1.1. Seguridad .....	1
1.1.1. Seguridad pública .....	1
1.1.2. Seguridad privada.....	2
1.2. Vigilancia .....	2
1.2.1. Circuito cerrado de televisión.....	3
1.2.2. Presencia permanente de personal de seguridad ....	4
1.2.3. Rondas aleatorias de agentes de seguridad .....	4
1.3. Seguridad en Guatemala.....	5
1.3.1. Seguridad privada en Guatemala .....	7
1.4. Sistema.....	8
1.4.1. Sistema de vigilancia perimetral .....	8
1.4.1.1. Sistema autosoportado .....	9
1.4.1.2. Sistema soportado.....	9
2. VEHÍCULO AÉREO .....	11
2.1. Vehículo aéreo no tripulado.....	11
2.2. Multicóptero.....	11

2.2.1.	Cuadrícóptero.....	12
2.2.1.1.	Marco .....	15
2.2.1.2.	Motor sin escobillas.....	16
2.2.1.3.	Variador de velocidad.....	17
2.2.1.4.	Hélice .....	18
2.2.1.5.	Batería de polímero de litio.....	19
2.2.1.6.	Módulo receptor .....	20
2.2.1.7.	Controladora de vuelo .....	21
2.2.1.7.1.	Arduino.....	23
2.2.1.7.2.	MultiWii.....	24
2.2.1.8.	Sistema de radio control.....	24
2.2.1.8.1.	Mando .....	24
2.2.1.8.2.	Módulo emisor.....	27
3.	SOLUCIÓN PROPUESTA .....	29
3.1.	Sistema de radio control.....	30
3.1.1.	Funcionamiento.....	31
3.1.2.	Batería.....	31
3.1.3.	Radio control .....	32
3.1.4.	Módulo emisor.....	33
3.2.	Cuadrícóptero.....	33
3.2.1.	Funcionamiento.....	35
3.2.2.	Marco .....	35
3.2.3.	Motor sin escobillas.....	36
3.2.4.	Variador de velocidad.....	37
3.2.5.	Hélice .....	38
3.2.6.	Controladora de vuelo .....	39
3.2.7.	Módulo receptor .....	40
3.2.8.	Batería.....	41

3.2.9.	Alarma de voltaje .....	41
3.2.10.	Elementos adicionales .....	42
3.2.10.1.	Patín de aterrizaje.....	42
3.2.10.2.	Antena de polarización circular.....	43
3.2.10.3.	Cargador de baterías Lipo .....	44
3.3.	Sistema FPV.....	45
3.3.1.	Funcionamiento .....	47
3.3.2.	Batería .....	48
3.3.3.	Cámara .....	48
3.3.4.	Transmisor de video .....	49
3.3.5.	Receptor de video.....	50
3.3.6.	Pantalla.....	51
3.3.7.	Regulador de voltaje.....	52
4.	PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN .....	53
4.1.	Montaje.....	53
4.1.1.	Sistema de radio control .....	53
4.1.2.	Cuadricóptero .....	53
4.1.3.	Sistema FPV.....	56
4.2.	Configuración .....	58
4.2.1.	Sistema de radio control .....	58
4.2.2.	Controladora de vuelo .....	60
4.2.3.	Variador de velocidad .....	62
5.	UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO .....	65
5.1.	Baterías de polímero de litio .....	65
5.1.1.	Proceso de carga.....	66
5.2.	Cuadricóptero .....	67

5.2.1.	Controles .....	68
5.2.2.	Ajuste despegue vertical .....	69
5.2.3.	Pilotaje.....	70
5.3.	Sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado .....	72
CONCLUSIONES.....		73
RECOMENDACIONES .....		75
BIBLIOGRAFÍA.....		77
APÉNDICES.....		81

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Multicóptero.....	12
2.	Cuadricóptero.....	13
3.	Configuración de rotores de un cuadricóptero .....	13
4.	Ángulos de navegación y sus ejes .....	14
5.	Marco .....	15
6.	Motor sin escobillas <i>outrunner</i> .....	16
7.	Motor sin escobillas <i>inrunner</i> .....	17
8.	Variador de velocidad.....	18
9.	Hélice .....	19
10.	Batería de polímero de litio .....	20
11.	Módulo receptor .....	21
12.	Controladora de vuelo .....	22
13.	Entorno de desarrollo y placa Arduino UNO .....	23
14.	Mando .....	25
15.	Configuraciones de los modos de mando .....	27
16.	Módulo emisor.....	28
17.	Diagrama de bloques–sistema de radio control .....	30
18.	Diagrama esquemático–sistema de radio control .....	30
19.	Batería Turnigy 9XR Safety Protected 2 200 m Ah Transmitter Pack ..	31
20.	Radio control Turnigy 9x Mode 2 .....	32
21.	Módulo emisor Turnigy RF9X-V2 .....	33
22.	Diagrama de bloques–cuadricóptero.....	34
23.	Diagrama esquemático–cuadricóptero.....	34

24.	Marco DJI F330 .....	36
25.	Motor sin escobillas Emax XA2212 1 400 KV .....	37
26.	Variador de velocidad Q brain 4x25 A .....	38
27.	Hélice 8045 Slow Fly .....	38
28.	Controladora de vuelo Multiwii 328p .....	39
29.	Módulo receptor Turnigy 9x8c-v2 8 Channel Receiver .....	40
30.	Batería Zippy compact 4000mAh 3s 25c Lipo Pack.....	41
31.	Alarma de voltaje On Board Lipoly Low Voltage Alarm 2s-4s.....	42
32.	Patín de aterrizaje Universal Nylon Landing Skid 100 mm .....	43
33.	Antena LHCP para 1,2 GHz.....	44
34.	Cargador IMAX B6 LiPro Balance Charger.....	45
35.	Diagrama de bloques–sistema FPV transmisor .....	45
36.	Diagrama esquemático–sistema FPV transmisor .....	46
37.	Diagrama de bloques–sistema FPV receptor .....	46
38.	Diagrama esquemático – sistema FPV receptor.....	47
39.	Batería Turnigy 9XR Safety Protected 2200mAh Transmitter Pack.....	48
40.	Cámara Mobius Actioncam.....	49
41.	Transmisor de video 16 CH Video Transmitter 1,2 GHz 700 mW.....	50
42.	Receptor de video 12 CH Video Receiver 1,2 GHz .....	51
43.	Pantalla HFK-501P 5” 16:9 TFT-LCD .....	51
44.	Regulador de voltaje Mini DC-DC Adjustable Step Down Power Supply Module .....	52
45.	Configuración del marco .....	54
46.	Diagrama de conexión-cuadróptero .....	56
47.	Diagrama de conexión-sistema FPV transmisor.....	57
48.	Diagrama de conexión-sistema FPV receptor .....	57
49.	Diagrama de conexión-TH Hub .....	64
50.	Diagrama de conexión-Imax B6.....	67
51.	Controles de interés-Turnigy 9x Mode 2 .....	68

## TABLAS

I.	Delitos contra el patrimonio cometidos en 2011–2013.....	5
II.	Delitos contra el patrimonio cometidos en 2013 por departamento .....	6
III.	Servicios de empresas de seguridad privada en Guatemala .....	7



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>A</b>	Amperio
<b>Cw</b>	<i>Clockwise</i> o giro a favor de las manecillas del reloj.
<b>Esc</b>	<i>Electronic speed controller</i> o controlador electrónico de velocidad.
<b>Fpv</b>	<i>First person view</i> o vista en primera persona.
<b>G</b>	Giga ( $1 \times 10^9$ )
<b>Hz</b>	Hertz
<b>Lipo</b>	<i>Lithium polymer</i> o polímero de litio.
<b>Ppm</b>	<i>Pulse position modulation</i> o modulación por posición de pulso.
<b>Pwm</b>	<i>Pulse width modulation</i> o modulación por ancho de pulso.
<b>Kv</b>	Revolución por voltio

V

Voltio

## GLOSARIO

<b>Bec</b>	<i>Battery eliminator circuit</i> o circuito eliminador de batería.
<b>BEC</b>	Circuito presente en un variador de velocidad que proporciona un voltaje de salida regulado de 5v y elimina la necesidad de utilizar una batería extra al utilizar la batería principal.
<b>Ccw</b>	<i>Counterclockwise</i> o giro en contra las manecillas del reloj.
<b>Frecuencia</b>	Medida del número de veces que se repite un evento periódico por unidad de tiempo.
<b>Hardware</b>	Componentes físicos que integran un sistema.
<b>Microcontrolador</b>	Circuito integrado que puede ser programado para realizar tareas específicas, cuenta con una unidad de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.
<b>Pcm</b>	<i>Pulse code modulation</i> o modulación por pulso codificado.

<b>Pcm</b>	Tipo de modulación la cual transforma una señal analógica a una señal digital en forma de códigos de bits.
<b>PPM</b>	Tipo de modulación que varía la posición de un pulso en el tiempo, la amplitud y el ancho del mismo son constantes.
<b>Pulso</b>	Señal digital que cuenta con una medida de ancho (duración) y alto (nivel de voltaje) determinados.
<b>PWM</b>	Variación del ancho o duración de un pulso, la amplitud y la posición del mismo son constantes.
<b>Revolución por minuto</b>	Número de vueltas o rotaciones realizadas por un objeto, alrededor de un eje, por cada minuto.
<b>Software</b>	Componentes lógicos que integran un sistema.
<b>Vant</b>	Vehículo aéreo no tripulado

## RESUMEN

En este trabajo de graduación se desarrolla la implementación de un prototipo para un sistema de vigilancia perimetral híbrido. Este cuenta con las ventajas del monitoreo o visualización del entorno en tiempo real y las rondas perimetrales, con un sistema autosoportado móvil que permite llegar a lugares de difícil acceso.

El sistema de vigilancia cuenta con un vehículo aéreo no tripulado. Este es controlado a distancia por un operador a través de un mando, una video cámara, sistema de transmisión de video y monitor. Estos permiten obtener imágenes del entorno las cuales son presentadas al operador en un monitor montado en el mando.

El vehículo aéreo no tripulado utilizado es del tipo cuadricóptero. Este el cual brinda un plataforma estable y óptima para el montaje de los elementos necesarios para el sistema de vigilancia. Este es complementado por una videocámara y transmisor de video.

El mando utilizado para el control del vehículo aéreo no tripulado, cuenta con los controles necesarios para pilotarlo. Además, de un monitor para la visualización del video que es transmitido desde la aeronave.

El sistema de vigilancia perimetral fue implementado con elementos comerciales. Estos fueron elegidos para suplir las distintas necesidades que requería el mismo.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar el diseño para un sistema de vigilancia perimetral, que permita el monitoreo de amenazas que presenten un riesgo a la seguridad del perímetro de una instalación.

### **Específicos**

1. Implementar un sistema móvil que permita montar en su envergadura un sistema de vigilancia perimetral.
2. Dar a conocer los distintos componentes utilizados para la construcción de un cuadricóptero.
3. Incorporar los distintos componentes para la realización de un sistema de vigilancia perimetral, asistido por vehículo aéreo no tripulado.
4. Determinar el proceso de montaje y configuración de los distintos componentes utilizados, para la construcción de un sistema de vigilancia perimetral, asistido por vehículo aéreo no tripulado.
5. Determinar la correcta utilización del sistema de vigilancia perimetral, asistido por vehículo aéreo no tripulado.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que presenta altos índices de delitos, en el cual se vulnera el derecho de todo ciudadano a la seguridad. La seguridad pública brindada por el Estado no es eficaz en ubicaciones con gran extensión territorial, y cuando el número de agentes de seguridad no es proporcional al número de habitantes.

Debido a estas deficiencias existe la seguridad privada, que presta servicios auxiliares a la seguridad pública y trabaja en conjunto con la misma para brindar seguridad. La seguridad privada es más eficiente al ser un servicio especializado y personalizado para una tarea específica. Estos brindan seguridad con una disponibilidad y respuesta inmediata a comercios, residencias y aéreas perimetrales de un territorio delimitado.

Por esta razón se presenta el diseño de un sistema de vigilancia perimetral que hace uso de un vehículo aéreo no tripulado, para la realización de las tareas necesarias, para brindar seguridad a un perímetro. El diseño cuenta con la descripción de los elementos necesarios y diagramas esquemáticos para la implementación del mismo.

Se presentan las características de un vehículo aéreo no tripulado del tipo cuadricóptero: diseño, estructura y partes que lo componen. Se brinda una descripción de las partes y las funciones que cumplen en el mismo.

Se brinda la solución propuesta para implementar un sistema de vigilancia perimetral, asistido por vehículo aéreo no tripulado. Se desglosan los

componentes que integran los 3 principales subsistemas que conforman el sistema principal. Estos son: sistema de radio control, cuadricóptero y sistema FPV.

Se presenta una guía para la implementación del sistema con diagramas esquemáticos para la conexión, el montaje y las configuraciones necesarias de los componentes. Asimismo, las recomendaciones para la correcta utilización del sistema de vigilancia perimetral.

# **1. SISTEMA DE VIGILANCIA**

## **1.1. Seguridad**

Se puede definir como el sentido de protección hacia los riesgos o vulnerabilidades que pueden ocasionar daños y atentar en contra de la vida humana, empleando un conjunto de medidas y elementos.

### **1.1.1. Seguridad pública**

Servicio que el Estado debe proveer a todo ciudadano, para garantizar su integridad física y proteger los bienes materiales que posee. Para brindar la seguridad pública, el Estado se vale de las fuerzas de seguridad, las cuales se encargan de resguardar el orden público y proteger a la población civil, y del poder judicial. Este imparte justicia conforme constituciones políticas, valores y normas de ordenamiento jurídico del país.

La eficacia de la seguridad pública que el Estado pueda proveer dependerá de varios factores que pueden ayudar o perjudicar su funcionamiento. Esto como la extensión territorial, los índices de delitos y el número de agentes que integren las fuerzas de seguridad. Se puede decir que, la seguridad pública será un reflejo de la eficacia de las herramientas que el Estado emplee para brindar este derecho ciudadano.

### **1.1.2. Seguridad privada**

Servicio auxiliar a la seguridad pública, prestado por una empresa privada con previa autorización otorgada por las autoridades competentes. Este brinda protección personal y de bienes inmuebles a sus clientes. La seguridad privada puede hacer referencia a vigilancia, protección, investigación, y otros.

Este tipo de seguridad es más efectivo y personalizado, ya que al ser un servicio contratado se tendrá siempre una disponibilidad y respuesta inmediata ante los riesgos y vulnerabilidades. Las características y las herramientas utilizadas para proveer la seguridad privada dependerán de la empresa que se contrate para prestar el servicio.

### **1.2. Vigilancia**

Actividad que se efectúa para prevenir y detener perturbaciones o amenazas a la seguridad de la vida humana y de los bienes materiales. Esto se lleva a cabo por medio del monitoreo del comportamiento de las personas. El fin principal de la vigilancia es el cuidado y supervisión de personas u objetos.

La seguridad privada y la vigilancia son necesarias en todo tipo de instalaciones en las cuales se requiere resguardar la integridad física de sus empleados y proteger sus bienes inmuebles de posibles riesgos a su seguridad. La vigilancia es esencial en perímetros y en accesos en los cuales se requiere restringir el paso solo al personal autorizado. Esto evitando intrusos que pudieran representar un peligro a la seguridad de las instalaciones.

La vigilancia es un servicio brindado por una empresa privada y se puede realizar por medio de un circuito cerrado de televisión, presencia permanente de

personal de seguridad o rondas aleatorias de agentes de seguridad en un perímetro físico. El sistema de vigilancia utilizado dependerá de las características físicas que contenga las instalaciones a la cual se le brindará vigilancia. Un sistema de vigilancia global puede contar con la integración de varios tipos de sistemas que aporten diferentes características que sean necesarias para las instalaciones donde se brindará el servicio.

### **1.2.1. Circuito cerrado de televisión**

Consiste en la integración de 3 elementos principales para proporcionar una vigilancia remota y cámaras de televisión. Estas son instaladas en puntos estratégicos de interés y facilitan imágenes de video, en tiempo real del espacio donde son instaladas, transmisores y receptores de video. Estos proporcionan un medio para transmitir y recibir las señales de video de las cámaras de televisión y monitores. Estos permiten tener una visualización de las imágenes de video.

Este tipo de vigilancia se realiza remotamente desde un cuarto de control, donde agentes de seguridad pueden visualizar y grabar las imágenes de video y manipular las cámaras de televisión, para enfocar puntos de interés. Las características de este tipo de vigilancia son:

- Disminuye los riesgos hacia la integridad física de los agentes de seguridad.
- Reduce la cantidad de agentes de seguridad necesarios.
- Identifica al intruso o el problema en cuestión.

### **1.2.2. Presencia permanente de personal de seguridad**

Este es el tipo de vigilancia más común y el más empleado por su sencillez y en ocasiones es complementado por el sistema de circuito cerrado de televisión. Consiste en posicionar estratégicamente en los puntos más vulnerables a los agentes de seguridad, estos proporcionan ojos y oídos a todas las posibles amenazas o intrusos que pudieran presentar un riesgo hacia la seguridad.

Los agentes de seguridad pueden prevenir una posible amenaza dando una presencia de autoridad y dar acción inmediata a las situaciones que pudieran representar un riesgo a la misma. Las características de este tipo de vigilancia son:

- Altos riesgos hacia la integridad física de los agentes de seguridad
- Aumenta el número de agentes de seguridad necesarios
- Acción inmediata

### **1.2.3. Rondas aleatorias de agentes de seguridad**

Variación del sistema de vigilancia por presencia permanente de agentes de seguridad. Cuando las instalaciones son de una gran extensión territorial, estas poseen un perímetro amplio y por ende varios puntos vulnerables. Se emplea el sistema de vigilancia por rondas aleatorias, utilizando un método de rondas definidas o aleatorias que son realizadas por los agentes de seguridad para así cubrir todo el perímetro físico de las instalaciones con el mínimo de agentes de seguridad. Las características de este tipo de vigilancia son:

- Riesgo medio hacia la integridad física de los agentes de seguridad.
- Reduce el número de agentes de seguridad necesarios para cubrir un perímetro amplio.
- Acción e identificación lenta.

### 1.3. Seguridad en Guatemala

Según el último informe de delitos contra el patrimonio del 2013, realizado por Área de Transparencia (GAM), con datos proporcionados por la Policía Nacional Civil. Estos reportan un total de delitos, contra el patrimonio, cometidos a nivel nacional de 17 274 en 2013, encabezando el departamento de Guatemala con el mayor número de robos reportados. La siguiente tabla presenta el número de delitos, contra el patrimonio, cometidos 2011 - 2013 clasificados por tipo de robo.

Tabla I. **Delitos contra el patrimonio cometidos en 2011–2013**

Núm.	Tipo Robo	Año 2011	Año 2012	Año 2013
1	Vehículos	7,334	6,940	5,769
2	Motocicletas	4,626	4,901	5,655
3	Armas	1,723	1,830	1,831
4	Peatones	1,506	1,776	1,787
5	Residencias	1,000	1,237	1,193
6	Comercios	718	757	744
7	Buses	117	122	113
8	Iglesias	92	106	112
9	Turistas	64	95	64
10	Bancos	8	2	6
11	Unidades blindadas	-	1	-
	<b>TOTAL</b>	<b>17,188</b>	<b>17,767</b>	<b>17,274</b>

Fuente: Área de Transparencia, GAM. *Datos proporcionados por la PNC.* p. 80.

En los puestos 5 y 6 se encuentran los delitos contra el patrimonio a residencias y comercios respectivamente, con un promedio de más de 2 robos al día en 2013 y se puede observar una tendencia que se mantiene desde 2011. La tabla II presenta el número de delitos contra el patrimonio cometidos en el 2013, clasificados por departamento.

Tabla II. **Delitos contra el patrimonio cometidos en 2013 por departamento**

Núm.	Departamento	Vehículos	Monocicletas	Armas robadas	Peatonales	Residencias	Comercios	Buses	Iglesias	Turistas	Bancos	Unidades blindadas	Total
1	Guatemala	3460	1658	670	835	861	398	66	52	12	4	0	<b>8016</b>
2	Escuintla	525	1409	185	127	15	29	10	3	4	0	0	<b>2307</b>
3	Quetzaltenango	339	245	75	146	29	32	5	7	12	0	0	<b>890</b>
4	Huehuetenango	100	364	50	55	19	13	2	5	0	0	0	<b>608</b>
5	Suchitepéquez	158	210	48	88	21	26	5	4	0	0	0	<b>560</b>
6	Sacatepéquez	211	126	50	44	72	29	3	3	8	0	0	<b>546</b>
7	Izabal	52	332	85	23	10	9	0	0	2	1	0	<b>514</b>
8	Chimaltenango	209	156	45	35	26	35	2	4	1	0	0	<b>513</b>
9	Alta Verapaz	95	163	78	91	16	12	2	2	2	0	0	<b>461</b>
10	Peten	24	239	71	37	8	12	3	0	3	0	0	<b>397</b>
11	Chiquimula	75	150	110	30	12	9	0	0	0	0	0	<b>386</b>
12	Santa Rosa	116	86	70	39	15	18	4	6	2	0	0	<b>356</b>
13	San Marcos	82	73	48	43	17	17	1	7	1	0	0	<b>289</b>
14	Retalhuleu	48	158	18	39	4	8	4	0	0	0	0	<b>279</b>
15	Quiché	43	121	20	28	7	23	2	1	0	1	0	<b>246</b>
16	Zacapa	38	66	94	14	14	10	0	1	0	0	0	<b>237</b>
17	Jutiapa	56	27	27	34	15	18	1	6	1	0	0	<b>185</b>
18	Baja Verapaz	17	36	17	33	7	13	0	0	0	0	0	<b>123</b>
19	Totonicapán	69	6	3	13	1	12	0	3	0	0	0	<b>107</b>
20	El Progreso	37	16	24	4	11	5	1	0	0	0	0	<b>98</b>
21	Jalapa	4	9	39	15	5	5	1	1	0	0	0	<b>79</b>
22	Sololá	11	5	4	14	8	11	1	7	16	0	0	<b>77</b>
	<b>Totales</b>	<b>5769</b>	<b>5655</b>	<b>1831</b>	<b>1787</b>	<b>1193</b>	<b>744</b>	<b>113</b>	<b>112</b>	<b>64</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>17274</b>

Fuente: Área de Transparencia, GAM. *Datos proporcionados por la PNC.* p. 50.

En Guatemala se cometen la mayoría de delitos contra el patrimonio y por ende, es el departamento con más inseguridad del país. Por esta razón es común observar una tendencia en la contratación de servicios de seguridad privada para residencias y comercios, para la protección de personas y bienes inmuebles. Debido a los altos índices de robos que se presentan es necesario contar con un servicio de seguridad privada que proporcione una acción y respuesta inmediata a los posibles riesgos a la seguridad de las instalaciones.

### 1.3.1. Seguridad privada en Guatemala

Existen diversas empresas de iniciativa privada que brindan distintos servicios de seguridad privada. Siendo los servicios más comunes guardaespaldas, vigilancia, personal de seguridad, guardias, monitoreo. A continuación se presentan 5 empresas privadas y los servicios que cada una presta.

Tabla III. Servicios de empresas de seguridad privada en Guatemala

Servicios	Empresas				
	El Éband	Grupo Escorpión	Golan	Kriptón	Monitoreo Activa
Alarmas		x			x x
Análisis/Investigación	x	x			
Barreras perimetrales					x
Control de acceso					x x
Custodio		x		x	
Guardaespaldas/Escoltas	x			x	
Guardias	x			x	x
Localización de vehículos				x	x x
Monitoreo		x		x	x x
Patrullaje y reacción	x	x		x	
Seguridad bancaria		x			
Seguridad comercial		x			
Seguridad ejecutiva		x		x	
Seguridad electrónica	x	x			
Seguridad industrial		x			
Seguridad residencial		x			
Vehículos blindados				x	
Vigilancia		x		x	

Fuente: elaboración propia.

## **1.4. Sistema**

Configuración de elementos, componentes o subsistemas que guardan una relación e interactúan entre sí para obtener un fin. Los sistemas son delimitados por una frontera donde interactúan con el ambiente.

La frontera le da la capacidad a un sistema de intercambiar información con el ambiente, por medio de una entrada con la que reciben la información desde el ambiente y una salida con la que proveen información hacia el mismo. Si el sistema interactúa con el medio ambiente a través de su frontera es un sistema abierto, si no hay interacción, es un sistema cerrado.

El sistema puede ser natural y artificial. Un sistema natural es el que se puede encontrar en el medio ambiente o es formado naturalmente. Un sistema artificial es el que es creado por un ser humano.

### **1.4.1. Sistema de vigilancia perimetral**

Este consiste en la integración de elementos y subsistemas que actuando en forma coordinada. Estos permiten el monitoreo y protección de perímetros físicos, detección de intencionalidad de intrusión y disuasión de intrusos en instalaciones.

Los sistemas de vigilancia perimetral pueden clasificar por diferentes características técnicas, ya sea por la geometría de su cobertura (volumétricos, superficiales, lineales). También por el principio físico de actuación (cable de radiofrecuencia, cable de presión, cable microfónico, y otros) o bien por la estructura de soporte (auto soportados, soportados).

#### **1.4.1.1. Sistema autosoportado**

Son aquellos sistemas que no necesitan un soporte físico para su instalación como un muro, valla o estructura especializada, para su instalación y funcionamiento. Estos sistemas tienen su propio soporte, su implementación es más sencilla debido a que no requiere del diseño y construcción de un soporte físico por parte del usuario.

#### **1.4.1.2. Sistema soportado**

Son aquellos que necesitan de un soporte físico para su instalación. Estos deben ser instalados sobre un muro, valla o estructura. Los sistemas permiten mayor flexibilidad porque pueden instalarse en una estructura existente, pero su correcta implementación requiere de una estructura especializada para su instalación y requiere de un diseño y construcción de una estructura por parte del usuario.



## **2. VEHÍCULO AÉREO**

Este es un medio de transporte que permite realizar traslados de un lugar a otro por medio del aire, de cualquier tipo de carga. Estos vehículos tienen la ventaja de no requerir de una implementación de pista para trasladarse, ya que utilizan el espacio aéreo para este fin. La versatilidad y alcance de estos vehículos están limitados a su propio diseño y sistema empleado. Los mismos llegan a sitios remotos y pocos accesibles para otro tipo de vehículos.

### **2.1. Vehículo aéreo no tripulado**

Es un vehículo aéreo capaz de realizar un vuelo sin tripulación, el control del vehículo se realiza remotamente desde tierra y puede ser controlado manualmente o autónomamente por una computadora. El vant puede ser utilizado para varias tareas que van desde un reconocimiento de terreno por medio de cámaras y sensores, hasta realizar una tarea específica de aplicaciones militares.

### **2.2. Multicóptero**

Es un tipo de helicóptero con más de dos rotores. El multicóptero utiliza palas de paso fijo, el ángulo del rotor no varía cuando las palas giran, el control del movimiento se consigue mediante la variación de la velocidad de cada rotor para cambiar el empuje y el par producido por cada rotor. Su construcción y control es sencilla, y tienen mayor estabilidad que un helicóptero convencional.

Figura 1. **Multicóptero**



Fuente: Coptergraft. *Build-Aurora & MoVIM10*. <http://www.coptercraft.com/wp-content/uploads/2013/04/halo-8-rtf.jpg>. Consulta: enero de 2015.

### **2.2.1. Cuadricóptero**

Multicóptero de cuatro rotores. Esto debido a sus cuatro puntos de sustentación y propulsión es un vehículo muy estable, los cuatro rotores están montados en cada extremo de dos ejes que forman una (x). Esta configuración permite que se monten en su envergadura diversos dispositivos como cámaras y sensores para distintas aplicaciones.

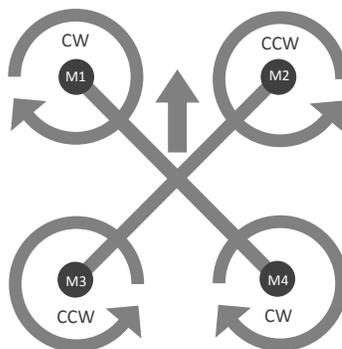
Figura 2. **Cuadricóptero**



Fuente: MCI Electronics. *Cuadricópteros*. <http://www.olimex.cl/images/80000-L.jpg>. Consulta: enero de 2015.

El control del movimiento se obtiene variando la velocidad relativa de cada rotor para cambiar el empuje producido por el mismo. Para evitar el giro sobre su mismo eje, que produce la rotación de las hélices en los ejes, el cuadricóptero se configura en par de rotores por eje. El par de rotores de un eje giran en sentido de las manecillas del reloj (CW) y el par de rotores del otro eje giran en sentido contrario a las manecillas del reloj (CCW).

Figura 3. **Configuración de rotores de un cuadricóptero**

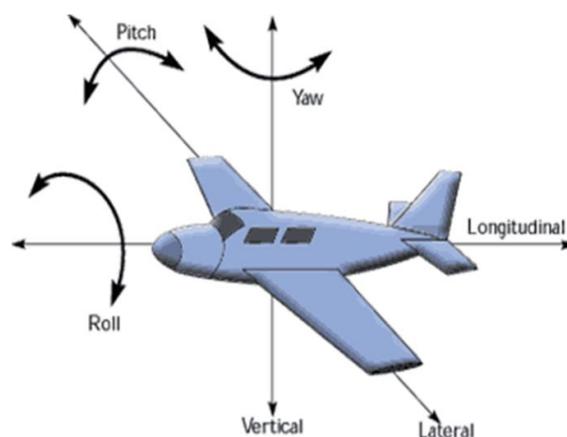


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Office.

Su control y dirección se realiza a través de variaciones en 3 ángulos conocidos como ángulos de navegación. Estos pueden ser aplicados a cualquier aeronave. Describen la orientación de un objeto en el espacio sobre 3 ejes conocidos como:

- *Yaw*, eje vertical que determina el cambio de dirección de la punta (lado a lado), controla el movimiento de la orientación de la punta del cuadricóptero.
- *Pitch*, eje transversal que determina la inclinación de la punta (arriba y abajo), controla el movimiento de adelante-atrás del cuadricóptero.
- *Roll*, eje longitudinal que determina la rotación de la punta sobre el eje (izquierda y derecha), controla el movimiento de izquierda-derecha de cuadricóptero.

Figura 4. **Ángulos de navegación y sus ejes**



Fuente: NovAtel. *Attitude – Pitch/Roll/Yaw*. <http://2.bp.blogspot.com/-18VdaBXv2sM/T9GziEMuu3I/AAAAAAAAAEE/SCtfkqZIEYs/s1600/roll+pitch+yaw.png>.

Consulta: enero de 2015.

Las inclinaciones sobre estos 3 ejes determinarán el movimiento del cuadricóptero. La altura es controlada por otro parámetro conocido como *throttle* o acelerador. Este varía la velocidad de los rotores, a mayor velocidad mayor altura y viceversa.

#### 2.2.1.1. Marco

Estructura principal que da forma y soporte al vehículo en su construcción. Este consiste en una armazón de un material resistente que integra y sujeta todos los componentes necesarios para el funcionamiento del cuadricóptero. Estos son los motores, circuitos de control, baterías y dispositivos adicionales que son añadidos dependiendo de las características especiales que se requieran en el cuadricóptero.

Figura 5. Marco



Fuente: Hobby King. *Marco para Cuadricóptero*.

<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/28172.jpg>. Consulta: enero de 2015.

### 2.2.1.2. Motor sin escobillas

Son motores que carecen de colector y escobillas, constan de tres bobinas que rodean un imán. Funcionan con una señal trifásica sinusoidal, el giro del motor se consigue con un patrón específico de pulsos y la velocidad de la rotación está dada por la frecuencia de los pulsos. Las revoluciones por minuto de estos motores están dadas por el producto entre su constante revolución por voltio y el voltaje aplicado al motor. Estos motores son conocidos también como motores *Brushless* y existen dos tipos:

- Motores *outrunner*: los imanes están situados en el exterior de la estructura, por lo tanto la parte exterior del motor es la que gira. Estos motores tienen baja velocidad y alto par.
- Motores *inrunner*: los imanes están en el interior de la estructura, por lo tanto tienen un eje central que gira. Estos motores tienen alta velocidad y bajo par.

Figura 6. Motor sin escobillas *outrunner*



Fuente: Master Model's. *Motor Outrunner 2824 – 1 300 kv 175 w.*

[http://www.mastermodels.com.ar/Imagenes\\_Productos/25544.jpg](http://www.mastermodels.com.ar/Imagenes_Productos/25544.jpg). Consulta: enero de 2015.

Figura 7. **Motor sin escobillas *inrunner***



Fuente: Hobby King. *TGY – Helidrive SK3 Competition Series -2839-3600 kv.*  
<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/21968.jpg>. Consulta: enero de 2015.

### **2.2.1.3. Variador de velocidad**

Son elementos que se encargan de controlar la velocidad de los motores sin escobillas y se les denomina *ESC*. El control de la velocidad se realiza por medio de una señal *PWM* generalmente de 50Hz. Cuentan con las siguientes conexiones:

- Entrada de alimentación principal
- Entrada de señal *PWM* para el control de velocidad
- Salida trifásica para el motor sin escobillas
- Salida de alimentación *BEC* para los elementos adicionales (opcional)

Figura 8. **Variador de velocidad**



Fuente: Hobby Store. *Variador de velocidad.*

[http://resources.hobbystores.co.uk/product\\_images/large/P/P-RMXD010.jpg](http://resources.hobbystores.co.uk/product_images/large/P/P-RMXD010.jpg). Consulta: enero de 2015.

#### **2.2.1.4. Hélice**

Dispositivo mecánico formado por un conjunto de palas o álabes, montados de forma concéntrica en un eje que al girar producen una fuerza propulsora. Cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que cambian progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo.

Los perfiles aerodinámicos que componen una hélice están sujetos a las mismas leyes y principios que cualquier otro perfil aerodinámico. Cada uno de estos perfiles tiene un ángulo de ataque, respecto al viento relativo de la pala cercano al plano de revolución de la hélice, y un paso (igual al ángulo de incidencia). El giro de la hélice acelera el flujo de aire hacia el borde de salida de cada perfil, a la vez que deflacta este hacia atrás. Este proceso da lugar a la aceleración hacia atrás de una gran masa de aire, movimiento que provoca una

fuerza de reacción que es la que propulsa. Las hélices cuentan con 4 características principales:

- Longitud. indica la medida del largo total de la hélice.
- *Pitch* o ángulo de paso: indica la inclinación o el paso de aire por la hélice.
- Rotación: indica el sentido de rotación de la hélice, a favor de las manecillas del reloj (CW) o contra las manecillas del reloj (CCW).
- Material: tipo de material del cual está fabricada la hélice.

Figura 9. Hélice



Fuente: Cuaricóptero. *Hélices para cuadricóptero*.

<http://www.emaxmodel.com/pic/201106/2211407.jpg>. Consulta: enero de 2015.

#### 2.2.1.5. Batería de polímero de litio

Batería de gran capacidad con un peso mínimo, ideales para vehículos aéreos donde se debe conseguir el menor peso posible, para alargar su tiempo de vuelo. Estas baterías se construyen con celdas de 3,7 voltios (V) denominadas por la letra S, siendo de 1 celda 1S, 2 celdas 2S, y otros. Las celdas se conectan en serie para aumentar el voltaje total que entrega la batería, o se conectan en paralelo para aumentar la capacidad de la batería. La

capacidad de la batería se indica como mAh o miliamperios por hora, indica la corriente constante que puede entregar la batería en una hora.

La constante C es el ratio de descarga, indica la máxima corriente que una batería puede proporcionar, realizando el producto de los mAh por la constante C de la batería. Cuentan con 2 conexiones, la conexión de alimentación principal y un conector de balanceo para la carga de la batería. Estas baterías son conocidas también como Lipo y son una variante de las baterías de litio convencionales, requieren un cuidado especial tanto en su manipulación como también en su carga, por lo que requieren un cargador especial.

Figura 10. **Batería de polímero de litio**



Fuente: Rapid RC Models. *Batería de polímero de litio.*

<http://www.rapidrcmodels.com/ekmps/shops/rapid/images/turnigy-lipo-battery-5000-mah-3s-40c-to-50c-lipo-pack-145-p.jpg>. Consulta: enero de 2015.

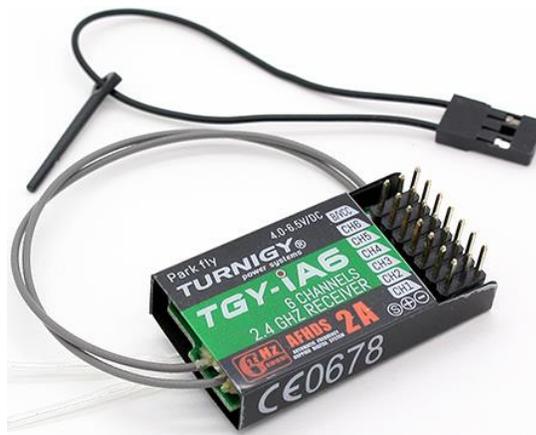
#### **2.2.1.6. Módulo receptor**

Encargado de realizar la comunicación con el sistema de radio control, recibe la señal transmitida por el mismo. Esto para luego realizar la demodulación, decodificación y demultiplexación de los datos que contienen los parámetros de los controles del sistema de radio control. Para lograr una

comunicación exitosa el módulo receptor y el módulo emisor del sistema de radio control deben ser compatibles en el tipo de modulación y en frecuencia de transmisión. Cuentan con un número de canales los cuales definen el número de parámetros del sistema de radio control que se puede recibir. Los 4 canales más importantes y comunes a todo módulo receptor son:

- Canal 1 (*Aileron* o Alerón): controla el ángulo *Roll*
- Canal 2 (*Pitch* o Inclinación): examina el ángulo *Pitch*
- Canal 3 (*Throttle* o Acelerador): dirige la altitud
- Canal 4 (*Rudder* o Timón): comprueba el ángulo *Yaw*

Figura 11. **Módulo receptor**



Fuente: Hobby King. *Módulo receptor*.

<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/60350.jpg>. Consulta: enero de 2015

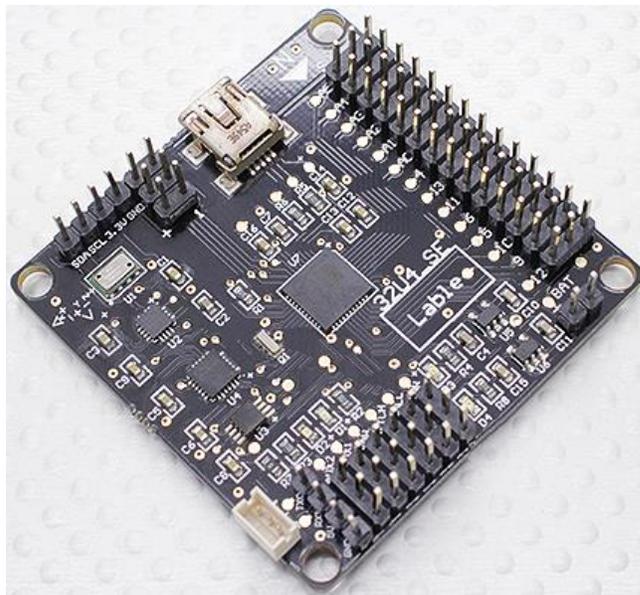
### 2.2.1.7. **Controladora de vuelo**

Controla y estabiliza el vuelo de un vant. Se encarga del procesamiento de las órdenes del radio control proporcionadas por el módulo receptor y controla

todos los elementos necesarios para el vuelo. Se construye con diferentes elementos que se integran en un mismo tablero de circuitos. Cuenta con un microcontrolador que procesa los datos y realiza los cálculos, sirve de puente para las comunicaciones de los distintos elementos del tablero de circuitos.

La estabilidad se realiza con la ayuda de giroscopios y acelerómetros con los que se pueden medir las inclinaciones y aceleraciones. Cuenta con pines de entrada y salida para la comunicación con dispositivos externos. La controladora de vuelo es completamente programable y se adapta para fines específicos, también son conocidas como *flight controller* y se pueden encontrar diferentes especificaciones de usos diversos.

Figura 12. **Controladora de vuelo**



Fuente: Hobby King. *Controlador de vuelo*.

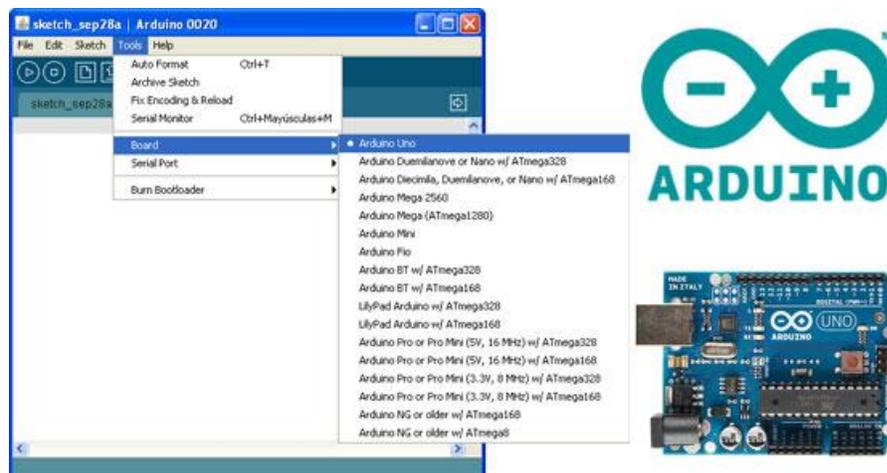
<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/22321.jpg>. Consulta: enero de 2015

### 2.2.1.7.1. Arduino

Plataforma de hardware libre, por lo que sus configuraciones, diagramas y especificaciones son de uso y acceso público de forma gratuita. Inicia como un proyecto para estudiantes en 2005 pensado para bajar los costos de implementación de proyectos electrónicos. Por ello, actualmente es ampliamente utilizada para implementarlos y desarrollarlos. La plataforma Arduino se divide en:

- Hardware: placa basada en un microcontrolador Atmel AVR, la cual contiene puertos de entrada/salida, de comunicación, analógicos, PWM.
- Software. entorno de desarrollo basado en el lenguaje de programación *processing* en conjunto con un *bootloader* o cargador de arranque que se ejecuta directamente en la placa.

Figura 13. Entorno de desarrollo y placa Arduino UNO



Fuente: Brico Geek. *Arduino Create: El IDE de Arduino en la nube.*

[http://blog.bricogeek.com/img\\_cms/1676-arduino-0020.jpg](http://blog.bricogeek.com/img_cms/1676-arduino-0020.jpg). Consulta: enero 2015.

### **2.2.1.7.2. MultiWii**

Proyecto de software Open Source, por lo que el acceso y modificación de su código de programación está abierto al público. Inicia como un proyecto para implementar un software para el control de multicopteros basado en Arduino y la utilización de los sensores acelerómetro/giroscopio del control utilizado por el Nintendo Wii. Actualmente cuenta con placas implementadas con sus propios sensores y elementos necesarios para el control de multicopteros llamadas controladoras de vuelo, siguen utilizando Arduino para la implementación del software y diseño del hardware.

MultiWii proporciona *sketch* o códigos preescritos que pueden ser utilizados por Arduino, los cuales son compatibles con un gran número de controladoras de vuelo y sensores. Estos son modificados en el IDE de Arduino para adaptarlos a la configuración específica utilizada.

### **2.2.1.8. Sistema de radio control**

Sistema independiente o externo al cuadricóptero, por lo que no forma parte de su construcción, pero es esencial para controlar remotamente el mismo. El sistema de radio control está conformado por un mando y un módulo emisor.

#### **2.2.1.8.1. Mando**

Dispositivo electromecánico que proporciona diversos elementos mecánicos que pueden ser manipulados por el usuario. Variando las posiciones de los elementos se obtienen parámetros, los cuales son convertidos en señales eléctricas que son codificadas para su transmisión. Integra un

microprocesador que controla todo el proceso, mide las variaciones, genera las señales eléctricas y determina qué parámetro variará cada elemento mecánico. Algunos modelos cuentan con una interfaz gráfica la cual permite programar el funcionamiento del mando y visualizar distintos datos de interés.

Los elementos más comunes presentes en un mando son:

- Palanca de mando analógica: cuenta con 2 ejes de movimiento, cada eje tiene un rango continuo de posiciones en el que puede ser manipulada.
- Potenciómetro de eje: cuenta con un rango continuo de posiciones en el que puede ser manipulado.
- Interruptor de palanca con enclavamiento: cuenta con 2 o 3 posiciones las cuales son retenidas.
- Botón o pulsador: cuenta con 2 posiciones momentáneas.
- Pantalla: permite visualizar menús y datos de interés.

Figura 14. **Mando**



Fuente: Hobby King. *Mando T145G*.

<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/46050.jpg>. Consulta: enero 2015.

Las palancas de mando analógicas cuentan con un mecanismo que permite, al ser liberadas por el usuario, retornen automáticamente a su centro. El eje de la palanca que controla el acelerador no cuenta con dicho mecanismo, por lo que al ser liberada por el usuario mantiene su última posición.

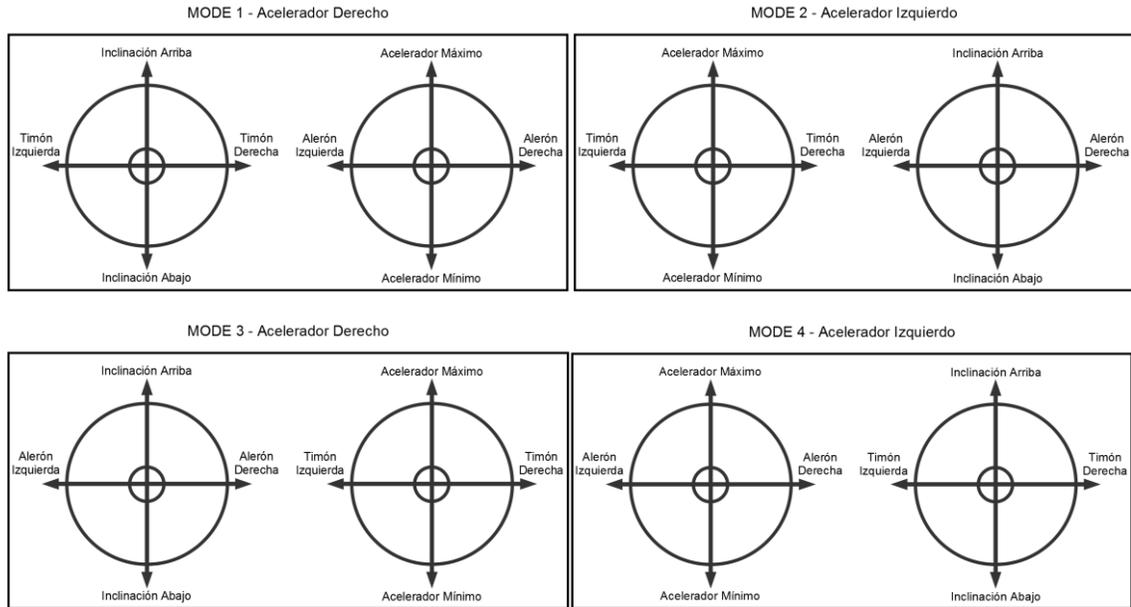
Existen dos modos de mando principales, *Mode 1* y *Mode 2*, los cuales determinan físicamente que palanca contiene el eje especial del acelerador. Los modos son permanentes, es decir, no pueden ser modificados a nivel de programación.

- *Mode 1*: acelerador en el eje vertical de la palanca derecha
- *Mode 2*: acelerador en el eje vertical de la palanca izquierda

A nivel de programación el mando puede permitir la asignación de los parámetros que controlarán los ejes restantes, creando así dos modos de mando adicionales a nivel lógico. Estos pueden o no estar presentes en los mandos, siendo estos los modos especiales, *Mode 3* y *Mode 4*.

- *Mode 3*: variación del *Mode 1*
- *Mode 4*: variación del *Mode 2*

Figura 15. Configuraciones de los modos de mando



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 2.2.1.8.2. Módulo emisor

Recibe los parámetros de los elementos del mando para su modulación y transmisión. La modulación utilizada dependerá del tipo y modelo de módulo emisor siendo las más comunes *PPM* y *PCM*. La frecuencia de transmisión del módulo emisor determinará la máxima distancia de comunicación y la interferencia que sufrirá la misma. Otra característica importante es el número de canales del módulo emisor. Estos definen la cantidad de parámetros independientes del mando que pueden ser transmitidos.

Figura 16. **Módulo emisor**



Fuente: Hobby King. *Fat Shaark Nexwave RF 2,4 GHz Receiver Module*.  
<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/43852.jpg>. Consulta: enero 2015.

### 3. SOLUCIÓN PROPUESTA

Un sistema de vigilancia perimetral consiste en la integración de elementos electrónicos y mecánicos que permitan el control, protección y detección de amenazas a la seguridad de un perímetro físico.

El sistema de vigilancia, que se plantea, contará con la integración de elementos electrónicos como sensores, cámaras, transmisores de video, controles de radio frecuencia. Así como la integración de elementos mecánicos para la construcción de un vant que de asistencia a los agentes de seguridad para la vigilancia perimetral.

El tipo de vant que se empleará para la asistencia es del tipo cuadricóptero. Este tipo de vehículo da un mejor control y estabilidad durante el vuelo, proporcionando una plataforma para el montaje de la electrónica de control y carga extra. Esta carga que será utilizada para montar sensores y cámara de video con un sistema de transmisión.

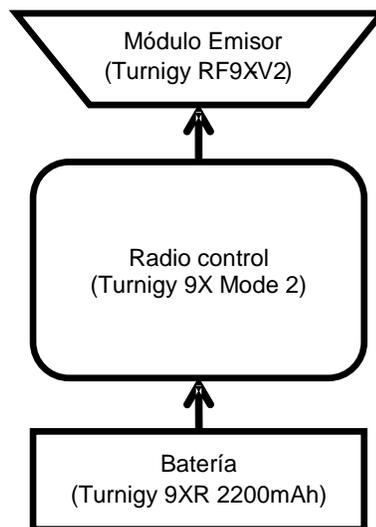
El sistema de seguridad que se plantea se puede dividir en 3 etapas:

- Sistema de radio control
- Cuadricóptero
- Sistema *FPV*

### 3.1. Sistema de radio control

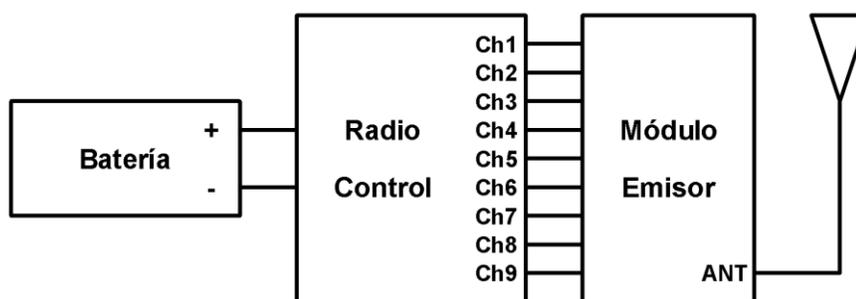
A continuación se explicará el sistema de radio control.

Figura 17. Diagrama de bloques–sistema de radio control



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 18. Diagrama esquemático–sistema de radio control



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 3.1.1. Funcionamiento

La batería suministra la alimentación al radio control, el cual proporciona los controles necesarios para pilotear el cuadricóptero. Los parámetros del radio control son ingresados al módulo emisor. Este se encarga de procesar los datos y los transmite en forma serial por la antena integrada del radio control a una frecuencia de 2,4GHz con una modulación PPM.

### 3.1.2. Batería

Se utilizará una batería Turnigy 9XR Safety Protected 2200mAh 3s 1,5C Transmitter Pack, la cual entrega una corriente de 2,2 amperios (A) por hora y un máximo de 3,3A sin dañarse con un voltaje de 11,1 V. Con esta batería se obtendrá una autonomía en el radio control de más de 12 horas de uso continuo y no requiere alarma de bajo voltaje. Esto debido a que cuenta con protección de bajo voltaje que desconecta la batería al llegar a su límite inferior de voltaje y protección de sobre voltaje que desconecta la batería al llegar a su límite superior de voltaje.

Figura 19. **Batería Turnigy 9XR Safety Protected 2 200 m Ah Transmitter Pack**



Fuente: Hobby King. *Batería Turnigy 9XR Safe Protected 2 200 m Ah Transmitter Pack*.  
<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/9xrbat2mn.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.1.3. Radio control

Se utilizará un radio control Turnigy 9x Mode 2 el cual proporciona los controles necesarios para el manejo del cuadricóptero. Cuenta con 2 palancas analógicas de 2 ejes, 7 interruptores de tipo palanca, 3 potenciómetros, 6 botones para la configuración y navegación por el menú y una pantalla LCD para la visualización de datos y menús. El control de aceleración (elevación) se encuentra en la palanca izquierda y el control de la dirección (izquierda, derecha, atrás y adelante) en la palanca derecha, la función de los demás controles es programable. Cuenta con una antena integrada de 2,4 GHz con un alcance de alrededor de 500 metros en terreno abierto.

Figura 20. Radio control Turnigy 9x Mode 2



Fuente: RC Groups. *Radio control Turnigy 9x Mode 2.*

<http://www.rcgroups.com/forums/showatt.php?attachmentid=5108230&d=1345917005>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.1.4. Módulo emisor

Se utilizará un módulo emisor Turnigy RF9X-V2. Este realiza la multiplexación de los datos generados de los parámetros del radio control Turnigy 9x Mode 2, modulando los datos para una transmisión serial a una frecuencia de 2,4GHz. Cuenta con 2 tipos de modulación, PPM y PCM, siendo PPM la modulación comúnmente utilizada. Su conexión al radio control se realiza a través de un sócalo en la parte posterior del radio control Turnigy 9x Mode 2.

Figura 21. **Módulo emisor Turnigy RF9X-V2**



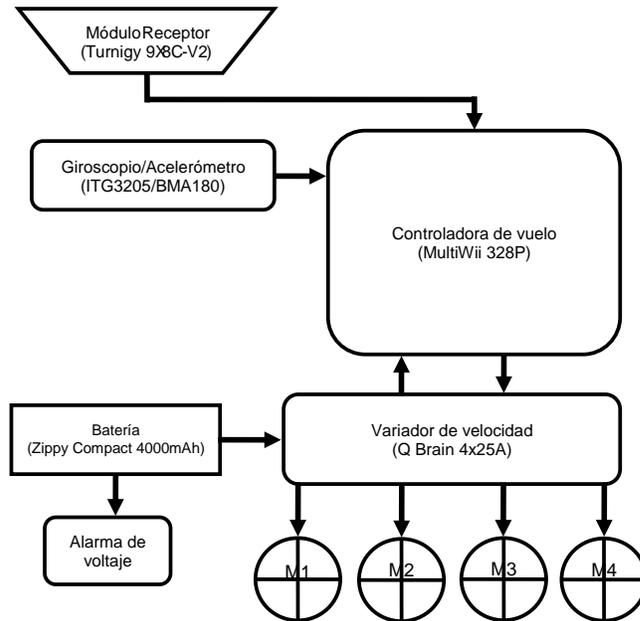
Fuente: Pyramid Models. *Módulo emisor Turnigy RF9X-V2.*

<http://www.pyramidmodels.com/shop/shopimages/TX-9X-M2b.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.2. Cuadricóptero

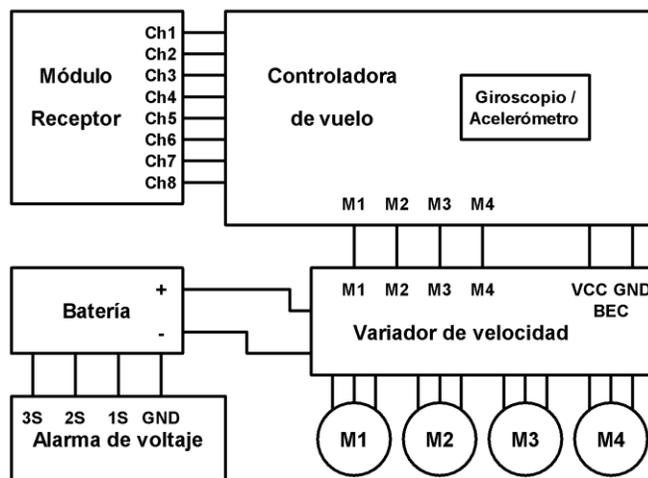
A continuación se explicará en un diagrama de bloques sobre el cuadricóptero.

Figura 22. **Diagrama de bloques–cuadrícóptero**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 23. **Diagrama esquemático–cuadrícóptero**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### **3.2.1. Funcionamiento**

La batería sustenta el variador de velocidad, el cual con su salida *BEC* de 5,25 V alimenta la controladora de vuelo y se encarga de distribuir la alimentación a los demás elementos. Los parámetros del radio control son recibidos por el módulo receptor para su procesamiento y son ingresados a la controladora de vuelo a través de 8 canales que representan 8 parámetros del radio control. La controladora de vuelo es el cerebro central de todo el control del cuadricóptero se encarga de interpretar los parámetros enviados desde el radio control y los convierte en señales PWM para el control de los motores. Las señales PWM son ingresadas al variador de velocidad que se encarga de controlar las velocidades de los motores.

La estabilidad del vuelo es controlada a partir del giroscopio/acelerómetro que se encarga de medir las inclinaciones y desviaciones que sufre el cuadricóptero. Esto por elementos externos y son compensados por la controladora de vuelo.

### **3.2.2. Marco**

Se utilizará el marco DJI F330 que está construido con un chasis central de fibra de vidrio. Este cuenta con un circuito impreso integrado para la distribución de la alimentación, 4 brazos de polímero de *nylon* (2 blancos y 2 rojos/negros para la orientación del cuadricóptero). El marco permite montar 4 motores y cuenta con un soporte para la electrónica y elementos adicionales. El tamaño del marco es de 330 mm (en diagonal de motor a motor).

Figura 24. **Marco DJI F330**



Fuente: Bang goog. *DJI F330 4 ejes.*

[http://img.banggood.com/images/upload/2014/08/SKU162060\\_10.jpg](http://img.banggood.com/images/upload/2014/08/SKU162060_10.jpg). Consulta: marzo de 2014.

### **3.2.3. Motor sin escobillas**

Se utilizarán 4 motores sin escobillas *Outrunner* Emax XA2212 1 400 KV, para una configuración de cuadricóptero tipo (X). Este motor requiere una alimentación de 11,1 v con una batería de 3 s, cuenta con un adaptador para la fijación de la hélice y conectores tipo plug de 3,5 mm para su conexión.

Figura 25. **Motor sin escobillas Emax XA2212 1 400 KV**



Fuente: Toy Drones. *Motor sin escobillas Emax XA2212 1 400 KV.*

<http://www.toydrones.com/wp-content/uploads/2014/11/1-Combo-With-Emax-XA2212-1400KV-Brushless-Motor-And-Simonk-20A-ESC-0-1.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### **3.2.4. Variador de velocidad**

Se utilizará el variador de velocidad Q Brain 4x25A, el cual integra 4 variadores de velocidad de 25A en una sola unidad. También cuenta con funciones programables como la protección de baja tensión, modo de inicio y el tiempo del motor. Permite una alimentación principal de 7,4 v a 14,8 v por medio de un conector HXT4 mm, su conexión con los motores es por conectores tipo Jack de 3,5 mm. El variador proporciona una salida de alimentación *BEC* para otros circuitos de 5,25 V/3 A y conexiones para la señal de control PWM por medio de conectores tipo pin.

Figura 26. **Variador de velocidad Q brain 4x25 A**



Fuente: Hobby King. *Variador de velocidad Q brain 4x25 A.*

<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/42715.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.2.5. Hélice

Se utilizarán 4 hélices 8045 Slow Fly o de vuelo lento (2 de rotación a favor de las manecillas del reloj y 2 de rotación contra las manecillas del reloj). Estas hélices son de revoluciones bajas, tiene un largo de 8 pulgadas y un ángulo de paso de aire de 4,5 pulgadas.

Figura 27. **Hélice 8045 Slow Fly**



Fuente: Hobby King. *Helice 8045 slow fly.*

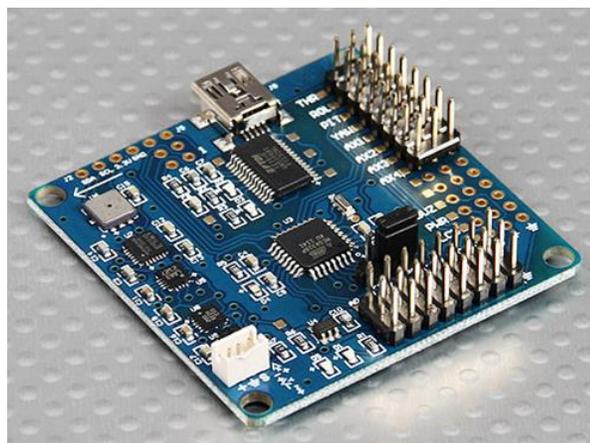
<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/25818.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.2.6. Controladora de vuelo

Se utilizará la controladora de vuelo MultiWii 328p. Esta cuenta con un giroscopio (ITG3205) y un acelerómetro (BMA180) de 3 ejes (“X”, “Y”, “Z”). Estos se encuentran integrados directamente en su tablero de circuitos, los mismos son utilizados para el control de la inclinación midiendo las variaciones que puedan ocasionar perturbaciones externas. Utiliza un microcontrolador ATmega 328 p que se encarga del control de todos los procesos, el cual soporta programación en el lenguaje Arduino.

Cuenta con 9 entradas y 9 salidas analógicas con conectores tipo pin y una interfaz USB para su programación. La programación se realiza por medio de *sketch* o códigos preescritos proporcionados por el proyecto abierto de software Multiwii. Los mismos se modifican para una configuración específica de hardware con la ayuda del entorno de desarrollo Arduino.

Figura 28. Controladora de vuelo Multiwii 328p



Fuente: Hobby King. Controladora de vuelo Multiwii 328p.

[http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/27033\(1\).jpg](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/27033(1).jpg). Consulta: marzo de 2014.

### 3.2.7. Módulo receptor

Se utilizará el módulo receptor Turnigy 9x8C-V2 8-Channel Receiver proporciona una salida de 8 canales analógicos con conectores tipo pin. Esto para su conexión a la controladora de vuelo, cada canal cuenta con 3 pines de conexión lo cuales son S (señal), + (5v), - (tierra). El módulo receptor tiene un pin especial *bind* o vinculación la cual permite vincular el receptor a un radio control específico, este proceso se realiza una vez.

La vinculación permite que el radio control se conecte al receptor específico con lo que se evitan interferencias que pudieran ocasionar radio controles del mismo tipo en la misma área o manipulaciones indeseadas con un radio control externo del mismo tipo.

Figura 29. Módulo receptor Turnigy 9x8c-v2 8 Channel Receiver



Fuente: Volando en el cielo. *Modulo receptor Turnigy 9x8c – v2 8 channel receiver.*  
<http://volandoenelcielo.com/wp-content/uploads/2014/02/turnigy-9X-V2-reciever.jpg>. Consulta:  
marzo de 2014.

### 3.2.8. Batería

Se utilizará una batería ZIPPY Compact 4000mAh 3s 25C Lipo Pack. Esta entrega una corriente de 4 A por hora y un máximo de 100 A sin dañarse con un voltaje de 11,1 V. Con esta batería se obtendrá una autonomía de vuelo de 15-20 minutos.

Figura 30. **Batería Zippy compact 4000mAh 3s 25c Lipo Pack**



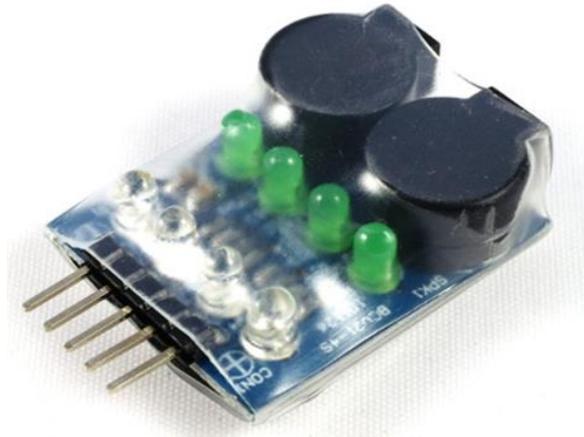
Fuente: Hobby King. *Batería Zippy compact 4000mAh 3s25c Lipo Pack.*

<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/21360.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.2.9. Alarma de voltaje

Se utilizará la alarma *On Board Lipoly Low Voltage Alarm 2s-4s*, la cual emite sonido y luz al detectar un nivel por debajo de 3,3 v por celda. Cuenta con conectores tipo pin para la conexión de las celdas individuales y el negativo de la batería, permite medir baterías de 2 a 4 celdas. Al realizar la conexión emite un sonido de inicialización y detecta el número de celdas de la batería conectada. Esto cuando el nivel de la celda está por encima de los 3,3 v indicadores led de color verde son encendidos. Al detectar un nivel de celda por abajo de los 3,3 v indicadores led de color rojo son encendidos en conjunto con un sonido de alarma emitido.

Figura 31. **Alarma de voltaje On Board Lipoly Low Voltage Alarm 2s-4s**



Fuente: Multirotor canada. *Lipo alarm 2s-4s*. <https://www.multirotorcanada.com/wp-content/uploads/2013/08/Lipo-Alarm-1161.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

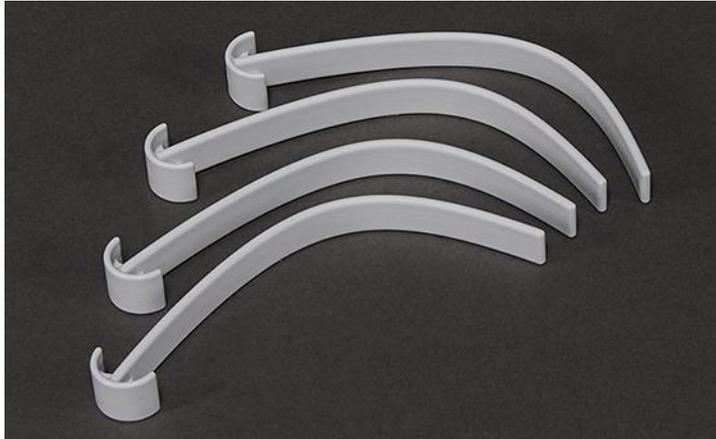
### **3.2.10. Elementos adicionales**

A continuación se explicarán los elementos adicionales.

#### **3.2.10.1. Patín de aterrizaje**

Se utilizará el set Universal Nylon Landing Skid 100 mm, el cual consta de 4 patines de aterrizaje y permite elevar el marco del suelo para la protección de los elementos montados por debajo de el mismo. Al ser universales no cuentan con un sistema de montaje por lo que se montarán con cinchos plásticos de amarre.

Figura 32. **Patín de aterrizaje Universal Nylon Landing Skid 100 mm**



Fuente: Hobby King. *Landing Skid 100 m.*

<http://cdn.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/34248.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### **3.2.10.2. Antena de polarización circular**

Se utilizará una antena de polarización circular de mano izquierda o LHCP para 1,2GHz para el sistema de FPV. Esto tanto en el emisor como en el receptor, con lo cual se mejora considerablemente el alcance y la calidad de la señal. Al ser polarización circular, las antenas no tienen que estar alineadas para la transmisión, pero sí tener el mismo tipo de polarización circular, en este caso de izquierda.

Figura 33. **Antena LHCP para 1,2 GHz**



Fuente: *1.2 GHz Circular Polarized Antenna SMA (Set) (Short)*.

[http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_43688\\_\\_1\\_2\\_GHz\\_Circular\\_Polarized\\_Antenna\\_SMA\\_Set\\_Short\\_.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__43688__1_2_GHz_Circular_Polarized_Antenna_SMA_Set_Short_.html). Consulta: noviembre de 2015.

### **3.2.10.3. Cargador de baterías Lipo**

Se utilizará el cargador y balanceador de baterías IMAX B6 LiPro Balance Charger. Este permite la carga de batería de Lipo con un balance de voltaje de las celdas individuales de la batería. Se opta por un cargador especializado para realizar la carga de las baterías de Lipo debido al especial cuidado que requiere esta actividad. El cargador es completamente programable y cuenta con funciones preprogramadas para la carga de baterías Lipo.

Figura 34. **Cargador IMAX B6 LiPro Balance Charger**

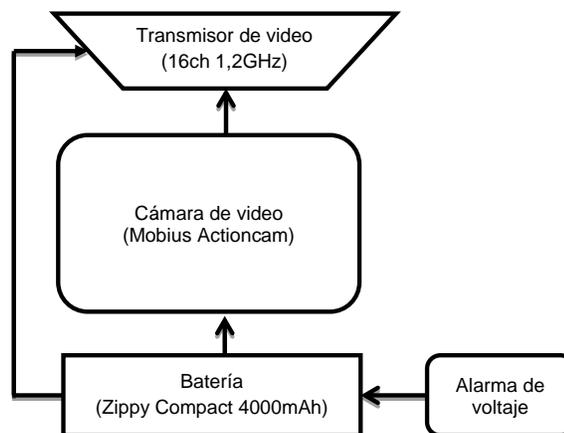


Fuente: SKY RC. *IMAX B6 LiPro*. <http://www.skyrc.com/image/cache/data/update/iMAXB6%20new-720x480.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.3. Sistema FPV

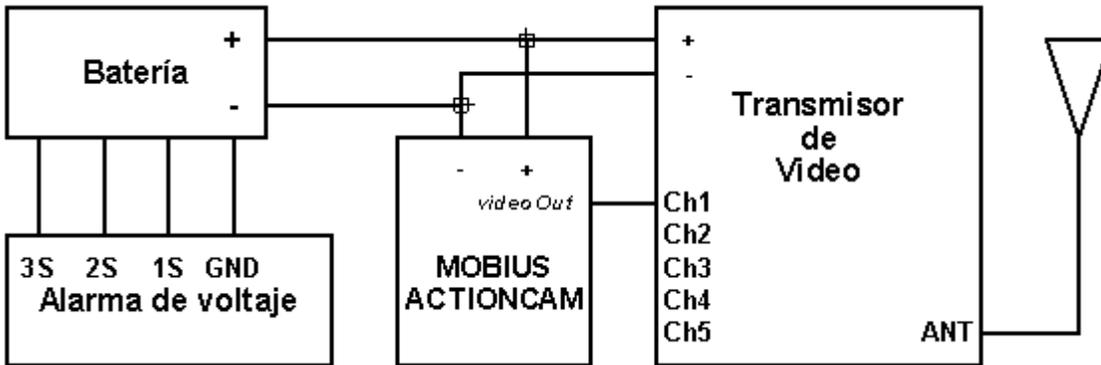
Se compone básicamente de: una cámara, transmisor de vídeo(video Tx) con una antena, receptor de vídeo (video Rx) con una antepantalla o gafas para visualizar la imagen.

Figura 35. **Diagrama de bloques–sistema FPV transmisor**



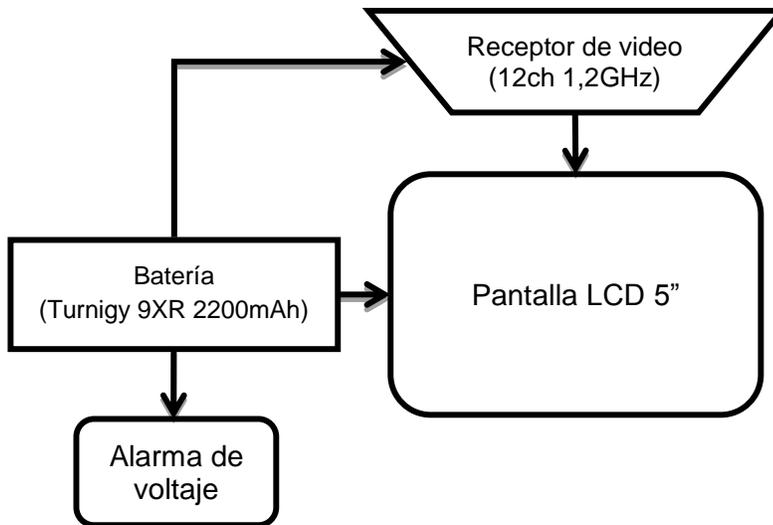
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 36. Diagrama esquemático–sistema FPV transmisor



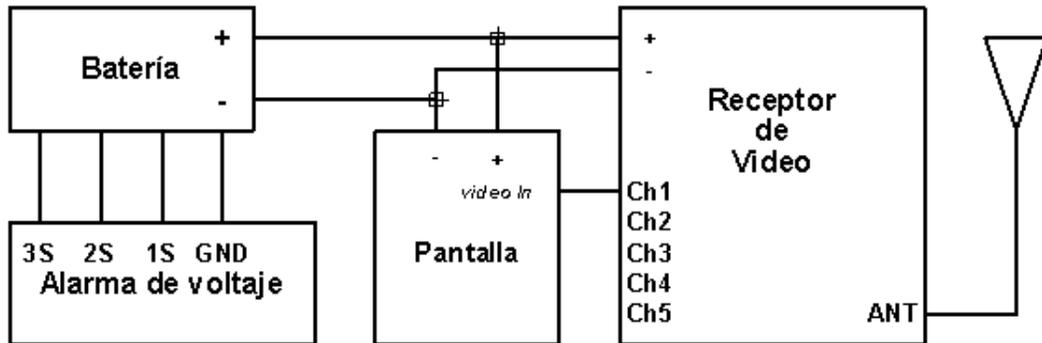
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 37. Diagrama de bloques–sistema FPV receptor



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 38. Diagrama esquemático – sistema FPV receptor



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

### 3.3.1. Funcionamiento

- Sistema FPV Transmisor (cuadricóptero): este sistema va montado en el cuadricóptero. La batería del cuadricóptero también suministrará el voltaje de alimentación para el transmisor y para la cámara de video, (a través de un regulador de voltaje a 5v). La salida de video compuesto de la cámara de video, irá conectado a la entrada del canal 1 del transmisor de video. Este tratará la señal para su transmisión por su antena integrada a una frecuencia de 1,2 GHz.
- Sistema FPV Receptor (radio control): este sistema va montado en el radio control. Una batería extra con su sistema de alarma de voltaje ubicada en el radio control suministrará el voltaje de alimentación para la pantalla y el receptor de video. El receptor de video configurado en el canal 1 recibirá la señal de video transmitida desde el cuadricóptero en tiempo real proporcionando una salida de video compuesto que será conectada a la pantalla para su visualización. La pantalla irá montada sobre el control.

### 3.3.2. Batería

Se utilizará una batería Turnigy 9XR Safety Protected 2200mAh 3s 1,5C Transmitter Pack, la cual entrega una corriente de 2,2 A por hora y un máximo de 3,3 A sin dañarse con un voltaje de 11,1 V. Con esta batería se obtendrá una autonomía en el sistema de receptor de video de más de 12 horas de uso continuo y no requiere alarma de bajo voltaje. Esto, ya que cuenta con protección de bajo voltaje que desconecta la batería al llegar a su límite inferior de voltaje y protección de sobre voltaje que desconecta la batería al llegar a su límite superior de voltaje.

Figura 39. **Batería Turnigy 9XR Safety Protected 2200mAh Transmitter Pack**



Fuente: Hobby King. 9XR batería 2 200 mAh.

<http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/catalog/9xrbat2mn.jpg>. Consulta: marzo de 2014.

### 3.3.3. Cámara

Se utilizará la cámara de video Mobius Actioncam, la cual graba video en formato digital en una tarjeta micro SD, con una resolución de 1 920 x1 080 p

con una velocidad de 30 fotogramas por segundo. Esta cuenta con una salida de video compuesto. Permite una alimentación de 5 v con conector mini USB para la alimentación y salida de video.

Figura 40. **Cámara Mobius Actioncam**



Fuente: Car Camera Shop. *Camera Dash*. <http://www.carcamerashop.co.uk/mobius-action-camera-dash-cam-version.html>. Consulta: marzo de 2014.

### **3.3.4. Transmisor de video**

Se utilizará el transmisor de video 16 Channel Video Transmitter 1,2 GHz 700 mW, el cual trabaja a una frecuencia de 1,2 GHz y dispone de un selector para los 16 canales diferentes siendo las frecuencias más recomendadas las de 0,9 GHz, 1,2 GHz y 1,3 GHz. Esto cuenta con una antena omnidireccional y tiene una potencia de transmisión de 700 mW con un alcance de alrededor de 800 m en terreno abierto, utiliza una sincronización AV para su correcta recepción de video. Permite una alimentación de 9 a 12 V con un consumo de 250 mA y cuenta con un conector para la conexión de video compuesto y alimentación.

Figura 41. **Transmisor de video 16 CH Video Transmitter 1,2 GHz 700 mW**



Fuente: [http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v1/1219412915\\_3/16-CH-1-2GHz-700mW-Wireless-AV-Transmitter-Receiver-Set-DC-12V-.jpg](http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v1/1219412915_3/16-CH-1-2GHz-700mW-Wireless-AV-Transmitter-Receiver-Set-DC-12V-.jpg). Consulta: marzo de 2014.

### **3.3.5. Receptor de video**

Se utilizará el receptor de video 12 CH Video Receiver 1,2 GHz, el cual trabaja a una frecuencia de 1,2GHz. Este dispone de un selector para los 12 canales diferentes siendo las frecuencias más recomendadas las de 0,9 GHz, 1,2 GHz y 1,3 GHz, cuenta con una antena omnidireccional para la recepción de la señal. Permite una alimentación de 7 a 12 V con un consumo de 250 mA y cuenta con un conector para la salida de video compuesto y para la alimentación.

Figura 42. **Receptor de video 12 CH Video Receiver 1,2 GHz**



Fuente: [http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v1/1219412915\\_3/16-CH-1-2GHz-700mW-Wireless-AV-Video-Receiver-Set-DC-12V-.jpg](http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v1/1219412915_3/16-CH-1-2GHz-700mW-Wireless-AV-Video-Receiver-Set-DC-12V-.jpg). Consulta: marzo de 2014.

### 3.3.6. Pantalla

Se utilizará la pantalla LCD HFK-501P 5" 16:9 TFT-LCD, pantalla LCD con tecnología TFT. Tiene un tamaño de pantalla de 12,7 cm en diagonal, una relación de aspecto de 16:9, cuenta con dos canales de video compuesto. Este soporta sistema de imagen PAL y NTSC con autodetección, tiene una resolución de 640x 480 pixeles, permite una alimentación de 9 a 35 V.

Figura 43. **Pantalla HFK-501P 5" 16:9 TFT-LCD**

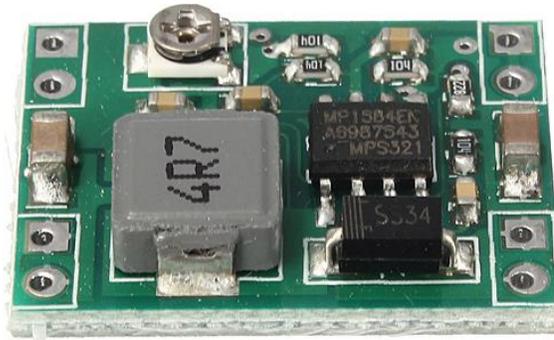


Fuente: Shop Titans Screen Car Monitor. [http://www.shoptitans.com/content/images/thumbs/0143109\\_hfk-501p-5quot-169-tft-lcd-screen-car-monitor-with-suction-cup-black.jpeg](http://www.shoptitans.com/content/images/thumbs/0143109_hfk-501p-5quot-169-tft-lcd-screen-car-monitor-with-suction-cup-black.jpeg). Consulta: marzo de 2014.

### 3.3.7. Regulador de voltaje

Se utilizará un regulador de voltaje Mini DC-DC Adjustable Step Down Power Supply Module. Este permite una entrada de alimentación de entre 4,5 v a 28 v con una salida de voltaje variable de entre 0,8 v a 20 v con una corriente de 2A y una eficiencia de conversión del 96 %. La regulación se realiza por medio de un potenciómetro el cual se ajustará a un voltaje de salida de 5 v.

Figura 44. **Regulador de voltaje Mini DC-DC Adjustable Step Down Power Supply Module**



Fuente: Bang Good. *DC-CD Regulador de voltaje*. <http://www.banggood.com/Mini-DC-DC-Converter-Adjustable-Step-Down-Power-Supply-Module-p-945745.html>. Consulta: marzo 2014.

## **4. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN**

Se presenta una guía para la implementación del sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado.

### **4.1. Montaje**

Instalación y conexión de los elementos que conforman todo el sistema.

#### **4.1.1. Sistema de radio control**

Instalar y conectar la batería Turnigy 9XR Safety Protected 2 200 mAh Transmitter Pack en su compartimento en la parte trasera.

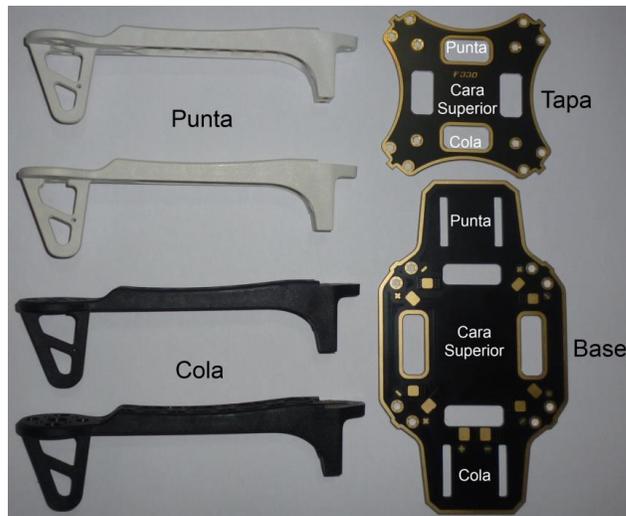
#### **4.1.2. Cuadricóptero**

El marco del cuadricóptero está formado por 2 brazos color blanco (punta), 2 brazos color rojo/negro (cola) y 2 placas (base y tapa) (ver figura 24). El marco se monta con las 2 placas con su cara superior hacia arriba, los brazos posicionados entre las 2 placas respetando los colores para la punta y la cola; esto para tener una referencia visual de la punta o el frente del cuadricóptero.

Los motores se etiquetan con un código que depende de su posición en el marco, en referencia a la punta o frente del mismo (ver Figura 3). El código del motor determinará su sentido de giro siendo los motores M1 y M4 CW (giro en sentido a las manecillas del reloj), mientras que los motores M2 y M3 CCW (giro en sentido contrario a las manecillas del reloj). El tipo de hélice que se instala

en cada motor depende del sentido de giro, las hélices R se instalan en los motores CW y las hélices L se instalan en los motores CCW.

Figura 45. **Configuración del marco**



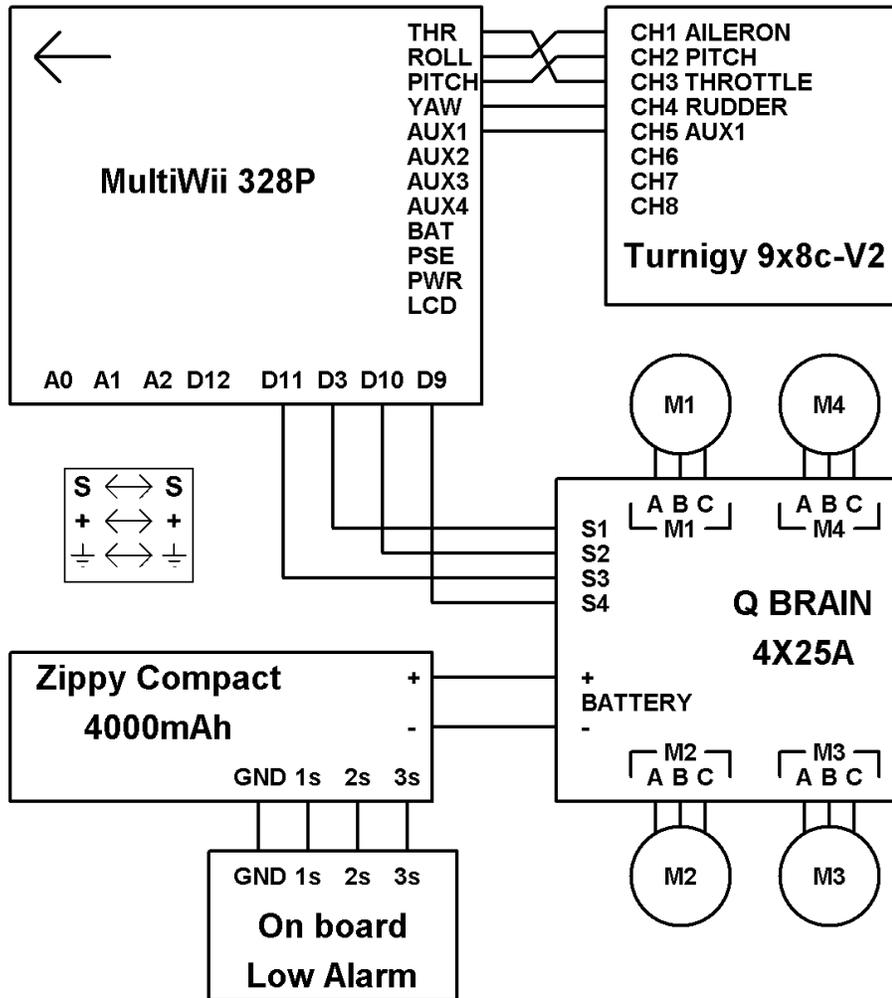
Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Photoshop.

- Elementos instalados en los brazos:
  - Motor: un motor por brazo instalado en su extremo libre.
  - Hélice: una hélice por motor instalada en el eje del motor.
- Elementos instalados en la placa base:
  - Cara inferior
    - Punta: cámara de video (mobius actioncam) (parte del sistema FPV).
    - Centro: variador de velocidad (Q brain 4x25A).
    - Cola: alarma de voltaje (*on board lipoly low voltage alarm 2s-4s*).

- Cara superior
  - Centro: controladora de vuelo (multiwii 328p) (dirección de la flecha impresa en la placa debe coincidir con la punta o frente del cuadricóptero).
  - Cola: módulo receptor (turnigy 9x8c-v2 8 channel receiver).
  
- Elementos instalados en la placa tapa:
  
- Cara inferior
  - Centro: transmisor de video (16 ch Video Transmitter 1,2GHz 700mW) (parte del sistema FPV).
  
- Cara superior
  - Centro: batería (zippy compact 4000mAh 3s 25c Lipo Pack).

A continuación se presenta un diagrama de conexión para los elementos que integran el cuadricóptero.

Figura 46. Diagrama de conexión-cuadrícóptero

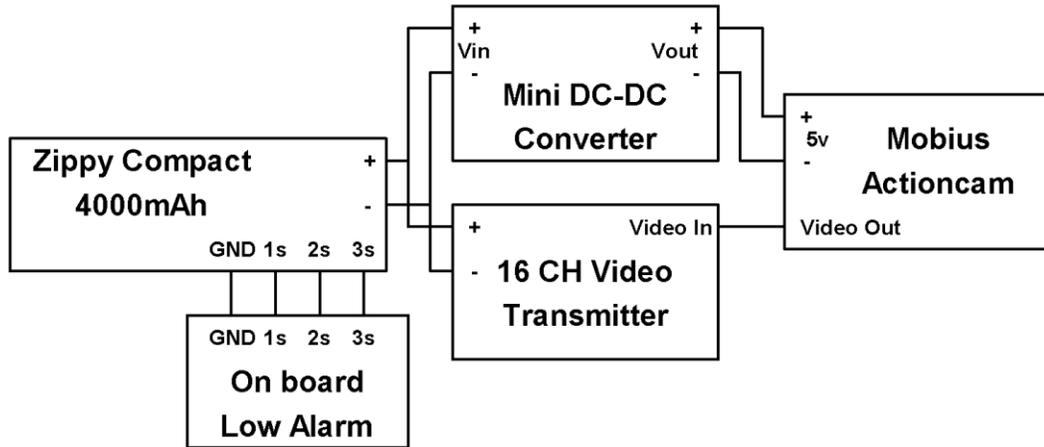


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

#### 4.1.3. Sistema FPV

- Transmisor: a continuación se presenta un diagrama de conexión para los elementos que integran el transmisor del sistema FPV.

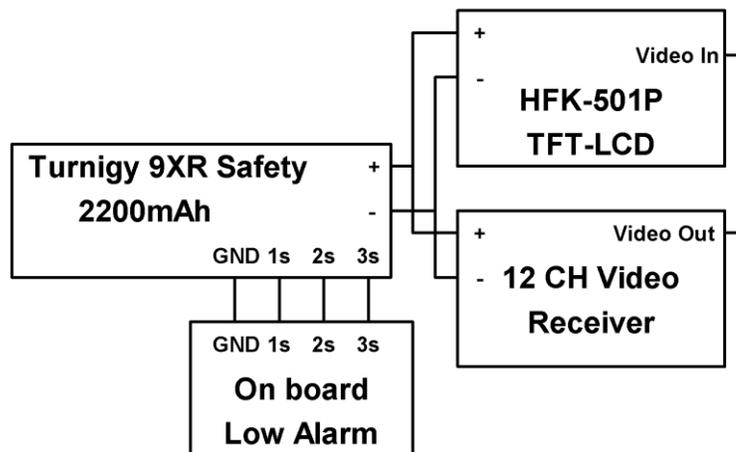
Figura 47. Diagrama de conexión-sistema FPV transmisor



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

- Receptor: en la figura 48 se presenta un diagrama de conexión para los elementos que integran el receptor del sistema FPV.

Figura 48. Diagrama de conexión-sistema FPV receptor



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

## 4.2. Configuración

Configuración del sistema de radio control, controladora de vuelo y variador de velocidad. Estos deben ser realizados con éxito antes de realizar un vuelo con el cuadricóptero.

### 4.2.1. Sistema de radio control

- Vinculación con módulo receptor: proceso que se realiza una sola vez de la siguiente manera:
  - Presionar el botón *bind* de la parte trasera del módulo emisor.
  - Encender el radio control sin soltar el botón *bind*.
  - Soltar el botón *bind* cuando el radio control muestre la pantalla principal.
  - Conectar el cable especial de vinculación del módulo receptor en su conector etiquetado *bind*.
  - Alimentar el módulo receptor en su conector etiquetado BAT.
  - Esperar hasta que la luz roja en el interior del módulo receptor esté encendida sin parpadeo.
  - Apagar el radio control.
  - Desconectar la alimentación.
  - Desconectar el cable especial de vinculación del módulo receptor.
  
- Prueba de vinculación: para comprobar la correcta vinculación con el módulo receptor realizar los siguientes pasos:
  - Encender el radio control.
  - Alimentar el modulo receptor en su conector etiquetado BAT.

- Si la luz roja en el interior del módulo receptor está encendida la vinculación es exitosa, caso contrario repetir los pasos de vinculación anteriores.
- Configuración del modelo cuadricóptero: para configurar el radio control para controlar un modelo de cuadricóptero con el código er9x realizar los siguientes pasos:
  - Encender el radio control.
  - Mantener presionado el botón "-" para entrar al menú "modelsel".
  - En la pantalla "modelsel" presionar el botón "menu" en el modelo 01.
  - Seleccionar la opción "*SEL/EDIT*" del menú emergente con el botón "menu".
  - En la pantalla "*Model Setup*" seleccionar la primera opción "*Mixer*" presionando el botón "menu".
  - En "CH1" presionar dos veces el botón "menu" para editarlo.
  - En "Source" seleccionar "Ail" con los botones "+" o "-".
  - Presionar el boton "exit" para regresar al menú anterior.
  - En "CH2" presionar dos veces el botón "menu" para editarlo.
  - En "*Source*" seleccionar "Ele" con los botones "+" o "-".
  - Presionar el boton "*exit*" para regresar al menú anterior.
  - En "CH3" presionar dos veces el botón "menu" para editarlo.
  - En "*Source*" seleccionar "Thr" con los botones "+" o "-".
  - Presionar el boton "*exit*" para regresar al menú anterior.
  - En "CH4" presionar dos veces el botón "menu" para editarlo.
  - En "Source" seleccionar "Rud" con los botones "+" o "-".
  - Mantener presionado el boton "exit" para regresar a la pantalla principal.

- Armar/Desarmar motores: configuraciones especiales de las palancas que permiten armar motores (encenderlos) y desarmar motores (apagarlos).
  - Armar motores, mantener la siguiente configuración:
    - Palanca izquierda posicionada abajo a la derecha
    - Palanca derecha posicionada en el centro
  - Desarmar motores, mantener la siguiente configuración:
    - Palanca izquierda posicionada abajo a la izquierda
    - Palanca derecha posicionada en el centro

#### **4.2.2. Controladora de vuelo**

- Programación del código MultiWii: para configurar el código MultiWii 2,4 para el control de un cuadricóptero realizar los siguientes pasos:
  - Conectar la controladora de vuelo a la PC por medio del cable usb.
  - Abrir el archivo "MultiWii" con Arduino.
  - Seleccionar la pestaña "config.h".
  - Borrar "//" de las siguientes líneas de código para activarlas.
    - `//#define QUADX`
    - `//#define MINTHROTTLE 1060`
    - `//#define MAXTHROTTLE 1990`
    - `//#define MINCOMMAND 1000`
    - `//#define I2C_SPEED 400000L`

- `//#define INTERNAL_I2C_PULLUPS`
  - `//#define HK_MultiWii_328P`
  - `//#define FAILSAFE`
  - `//#define FAILSAFE_DELAY 10`
  - `//#define FAILSAFE_OFF_DELAY 400`
  - `//#define FAILSAFE_THROTTLE (MINTHROTTLE + 300)`
  - `//#define FAILSAFE_DETECT_TRESHOLD 985`
- Presionar el botón "Subir" en el IDE de Arduino.
- Calibración con MultiWiiConf: para realizar la calibración del programa MultiWii cargado en la controladora de vuelo realizar los siguientes pasos:
  - - Encender el radio control.
    - Conectar la controladora de vuelo a la PC por medio del cable usb.
    - Abrir el programa MultiWiiConf.
    - Seleccionar el puerto de la controladora de vuelo.
    - Presionar el botón "*start*".
    - Posicionar el cuadricóptero en una superficie plana.
    - Presionar el botón "*calib\_acc*" para calibrar el acelerómetro.
    - En el apartado "*horizon*" seleccionar las 3 casillas "*low*", "*mid*" y "*high*" de "*aux1*".
    - Verificar los valores analógicos de "*throt*", "*roll*", "*pitch*" y "*yaw*" moviendo las palancas del radio control, estos deben estar en el rango de 1000-2000, de ser necesario ajustar en el radio control con los siguientes pasos:
      - Mantener presionado el botón "-".

- En el menú "modelseL" presionar el botón "-".
- En el menú "Model Setup" seleccionar el apartado "*Limits*" y presionar el botón "MENU".
- Posicionar la palanca del acelerador al centro.
- Verificar en "MultiWiiConf" los valores deben ser 1 500.
- Modificar de ser necesario cada canal aumentando o disminuyendo el valor de la primera columna en el menú "*Limits*" del radio control.
- Verificar en "MultiWiiConf" el recorrido de cada palanca del radio control moviéndola el cual debe ser de 1 000 a 2 000.
- Modificar de ser necesario cada canal aumentando o disminuyendo las dos columnas siguientes en el menú "*Limits*" del radio control.
- Mantener presionado el botón "*exit*" para regresar al menú principal en el radio control.

Con la realización de los pasos se tendrá configurada y calibrada la controladora de vuelo para controlar un cuadricóptero en configuración "X" con el programa MultiWii 2,4. Este actuará en el modo horizon el cual brinda ayuda al piloto al nivelar horizontalmente el cuadricóptero, al soltar o posicionar las palancas de *roll* y *pitch* al centro, con lo que el cuadricóptero se mantendrá estable horizontalmente el cual será de un pilotaje sencillo.

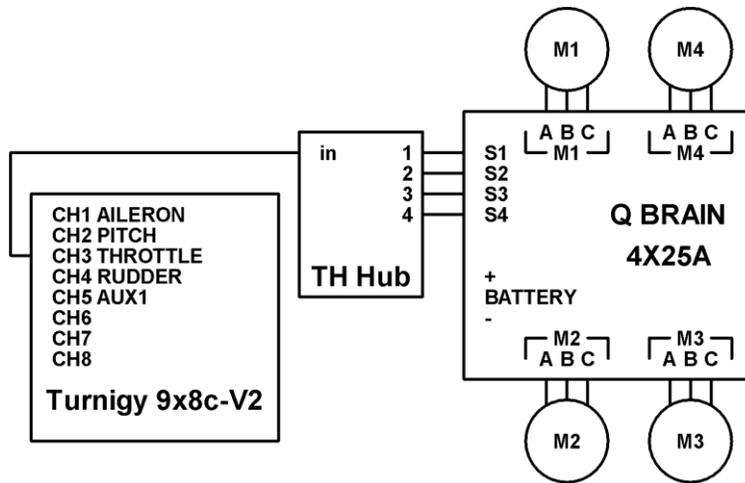
#### **4.2.3. Variador de velocidad**

- Calibrar valor mínimo y máximo del acelerador: para realizar la calibración de los valores mínimo y máximo del acelerador realizar los siguientes pasos:
  - Retirar las hélices de los motores.

- Conectar el adaptador "TH Hub" entre el módulo receptor y el variador de velocidad (ver figura 49).
  - Encender el radio control.
  - Posicionar la palanca del acelerador al máximo (arriba).
  - Conectar la batería al variador de velocidad.
  - Esperar hasta que el variador de velocidad emita dos pitidos.
  - Posicionar la palanca el acelerador al mínimo (abajo).
  - El variador de velocidad emitirá un pitido validando la calibración de los valores mínimos y máximos del acelerador.
  - Realizar una prueba moviendo lentamente la palanca del acelerador de su mínimo a máximo valor.
  - Verificar que los 4 motores arranquen al mismo tiempo, en caso contrario realizar nuevamente los pasos.
- Configuración del sentido de giro de los motores: para realizar la configuración del sentido de giro de los motores realizar los siguientes pasos:
    - Encender el radio control.
    - Conectar la batería al variador de velocidad.
    - Armar motores.
    - Verificar el sentido de giro de cada motor, en caso de tener un sentido de giro incorrecto:
      - Desarmar motores.
      - Desconectar la batería del variador de velocidad.
      - Intercambiar 2 de los cables que conectan el variador de velocidad con el motor en cuestión (no importa cuáles).
    - Desarmar motores (de ser necesario).
    - Desconectar la batería del variador de velocidad (de ser necesario).

- Apagar el radio control.

Figura 49. Diagrama de conexión-TH Hub



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

## **5. UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE VIGILANCIA PERIMETRAL ASISTIDO POR VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO**

Consideraciones y precauciones a tener en cuenta para el correcto funcionamiento y utilización del sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado.

### **5.1. Baterías de polímero de litio**

Este tipo de baterías utilizadas por el sistema de vigilancia ofrecen un alto rendimiento en su relación capacidad/peso, ideales para los vehículos aéreos como el cuadricóptero. Sin embargo, requieren de un cuidado especial en su uso diario, tomar las siguientes consideraciones al utilizarlas:

- El valor mínimo y máximo por celda es de 3v y 4,2 v respectivamente.
- Las celdas deben estar balanceadas, es decir, los voltajes de las celdas deben ser los mismos o ser muy próximos, caso contrario cargar la batería para balancearlas.
- No provocar un corto circuito (unión del terminal positivo con el terminal negativo) en sus terminales.
- No perforar la batería.
- No golpearla la batería.
- Utilizar solo cargadores especializados para baterías de polímero de litio.
- Realizar una carga balanceada.
- Vigilar la batería en su proceso de carga.
- El voltaje de carga debe ser igual al voltaje de la batería.

- La corriente de carga debe ser menor o igual a la capacidad de la batería (mAh) se recomienda utilizar una corriente de carga igual a la mitad de la capacidad de la batería.
- Antes de cualquier uso es recomendable cargarla al 100 % de su carga.
- Después de realizar una carga o haberla utilizado esperar 15 minutos antes de realizar otra operación con la batería.

El incumplimiento de los puntos anteriores pueden estropear la batería o producir una ignición de la misma. Si se presenta un percance aislar la batería en un sitio seguro y esperar 20 minutos antes de manipular la misma, una ignición puede producirse hasta 15 minutos después del hecho.

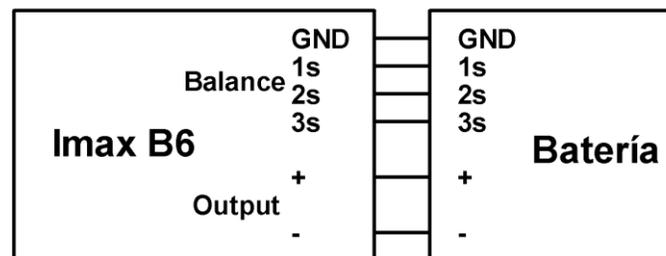
#### **5.1.1. Proceso de carga**

Para realizar una carga balanceada con el cargador Imax B6 realizar los siguientes pasos:

- Encender el cargador
- Conectar la batería (ver figura)
- Seleccionar "*program select lipo batt*"
- Presionar el botón "*start*"
- Seleccionar "*lipo balance*"
- Presionar el botón "*start*"
- Ingresar la corriente de carga
- Presionar el botón "*start*"
- Ingresar el voltaje de carga
- Presionar el botón "*start*"
- Presionar y sostener el botón "*start*"
- Presionar el botón "*start*" para iniciar la carga

- Finalizada la carga, desconectar la batería
- Apagar el cargador

Figura 50. Diagrama de conexión-Imax B6



Fuente: elaboración propia, empelando Microsoft Word.

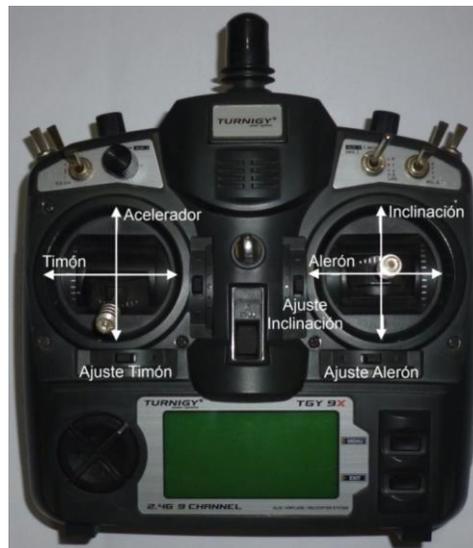
## 5.2. Cuadricóptero

En un correcto funcionamiento y utilización del cuadricóptero para realizar un vuelo estable, es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Calibrar ACC: este paso se realiza una vez y queda guardada la calibración, pero es recomendable realizar una calibración después de un accidente o si el cuadricóptero no vuela correctamente.
- Ajustar el despegue vertical.
- Vincular el radio control con su módulo receptor.
- Cargar la batería al 100 % de su capacidad antes de realizar un vuelo.
- Equilibrar el peso de los componentes sobre el cuadricóptero.
- Contar con juegos adicionales de hélices, cambiar periódicamente las mismas, especialmente si sufren daños en el uso.

- Contar con baterías extras, para alargar el funcionamiento continuo del cuadricóptero.
- Memorizar los controles de interés del radio control (ver figura 51).
- Recargar la batería del radio control cuando esté en un nivel igual o menor a 10 v.
- Encender el radio control antes de proceder a alimentar el cuadricóptero.
- Los movimientos de las palancas del radio control debe de ser suaves y graduales.

Figura 51. **Controles de interés-Turnigy 9x Mode 2**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Photoshop.

### 5.2.1. Controles

- Acelerador: controla la altura del cuadricóptero aumentando la velocidad de los motores. Se encuentra ubicado en el eje vertical de la palanca

izquierda, realiza un recorrido de su mínimo a máximo valor de abajo hacia arriba.

- **Timón:** controla la rotación de la punta del cuadricóptero sobre su propio eje rotándola 360° en 2 sentidos. Se encuentra ubicado en el eje horizontal de la palanca izquierda, el sentido de la rotación obedece la dirección de la palana (izquierda y derecha), la velocidad de la rotación depende de la distancia de la palanca hacia su centro, a mayor distancia de su centro mayor es la velocidad.
- **Inclinación:** controla el movimiento adelante-atrás del cuadricóptero inclinándolo hacia la dirección deseada. Se encuentra ubicado en el eje vertical de la palanca derecha, el sentido del movimiento obedece la dirección de la palanca (arriba-adelante y abajo-atrás), la velocidad del movimiento depende de la distancia de la palanca hacia su centro, a mayor distancia de su centro mayor es la velocidad.
- **Alerón:** controla el movimiento izquierda-derecha del cuadricóptero inclinándolo hacia la dirección deseada. Se encuentra ubicado en el eje horizontal de la palanca derecha, el sentido del movimiento obedece la dirección de la palanca (izquierda y derecha), la velocidad del movimiento depende de la distancia de la palanca hacia su centro, a mayor distancia de su centro mayor es la velocidad.

### **5.2.2. Ajuste despegue vertical**

Es un ajuste necesario para el correcto funcionamiento del cuadricóptero en vuelo, se busca un despegue completamente vertical sin desviaciones hacia ningún otro eje, para realizar este ajuste realizar los siguientes pasos:

- Encender el radio control
- Conectar la alarma de voltaje
- Alimentar el cuadricóptero
- Esperar la inicialización (sucesión de pitidos en los motores)
- Armar motores
- Despegar, subiendo la palanca del acelerador
- Observar el comportamiento y posibles desviaciones
- Aterrizar, bajando la palanca del acelerador
  
- Ajustar contrarrestando las desviaciones, por ejemplo:
  - Si el cuadricóptero se mueve hacia adelante, ajustar hacia atrás con el "ajuste inclinación" o viceversa.
  - Aplicar este concepto con las desviaciones de la inclinación, alerón y timón.
  - Ajustar un control a la vez realizando despegues para observar los efectos del ajuste.
  
- Quitar la alimentación del cuadricóptero
- Desconectar la alarma de voltaje
- Apagar el radio control

### **5.2.3. Pilotaje**

Antes de realizar un vuelo se deben haber realizado previamente las debidas calibraciones y ajustes en el cuadricóptero para que el comportamiento del mismo sea el adecuado. Es recomendable realizar vuelos de entrenamiento por parte del piloto designado, antes de realizar cualquier actividad relacionada con el sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado.

Los vuelos de entrenamiento se deben realizar en espacios abiertos y sin personas que puedan quedar expuestas por debajo del cuadricóptero.

Tomar en cuenta las siguientes recomendaciones al pilotar el cuadricóptero:

- Por ningún motivo manipular el cuadricóptero cuando estén los motores girando, las hélices tienen perfiles filosos que pueden provocar daños a la integridad física.
- Delimitar el área de vuelo a 1 kilómetro a la redonda respecto a la posición del piloto, no salir de esta área, ya que se corre el riesgo de la pérdida de señal del radio control.
- Al entrar en pérdida de señal el cuadricóptero entra en el modo "*Fail Safe*" el cual realiza un aterrizaje controlado manteniendo a una velocidad prudente los motores por unos 40 segundos, para luego apagar los motores.
- El cuadricóptero opera en modo "horizon" el cual brinda ayuda al piloto de la siguiente manera, cuando la palanca derecha es manipulada. Esto para realizar una inclinación con el cuadricóptero que obedece las indicaciones, al ser liberada o posicionada en su centro dicha palanca. El cuadricóptero se autonivela horizontalmente, tomar en cuenta que no mantiene la posición esto debe ser controlado por el piloto.
- Al perder el control del cuadricóptero y se presenta un choque inminente se deben realizar los siguientes pasos antes del mismo o a la mayor brevedad posible. Esto para minimizar los posibles daños:
  - Posicionar el acelerador al mínimo
  - Posicionar la palanca derecha al centro
  - Desarmar motores

- Los despegues y aterrizajes deben de ser verticales.

### **5.3. Sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado**

Realizar los siguientes pasos para la utilización del sistema:

- Encendido
  - Encender el radio control.
  - Conectar la batería del sistema FPV receptor a su alarma de voltaje.
  - Alimentar el sistema FPV receptor.
  - Conectar la batería del cuadricóptero a su alarma de voltaje.
  - Alimentar el cuadricóptero.
  - Verificar la transmisión de video en tiempo real en la pantalla del sistema FPV receptor.
  - Armar motores.
  - Realizar el despegue.
  
- Apagado
  - Realizar el aterrizaje.
  - Desarmar motores.
  - Desconectar la alimentación del cuadricóptero.
  - Desconectar la batería del cuadricóptero de su alarma de voltaje.
  - Desconectar la alimentación del sistema FPV receptor.
  - Desconectar la batería del sistema FPV receptor de su alarma de voltaje.
  - Apagar el radio control.

## CONCLUSIONES

1. Se implementó una aeronave del tipo cuadricóptero, la cual permite movilizar, por el espacio aéreo, distintos elementos que pueden ser montados en la superficie de su envergadura. Esto debido a su configuración de cuatro rotores la aeronave brinda estabilidad y maniobrabilidad, la cuales son necesarias para integrar un sistema de vigilancia perimetral en la misma.
2. Se determinaron los elementos necesarios para la construcción de un cuadricóptero los cuales son: marco: estructura principal, motor sin escobillas, brinda energía mecánica, variador de velocidad: controla el motor, hélice: brinda propulsión, batería de polímero de litio: brinda energía eléctrica, módulo receptor, receptor de comunicación del mando; controladora de vuelo: procesamiento y control de vuelo, mando. brinda elementos mecánicos para manipular el cuadricóptero, módulo emisor, transmisor de comunicación del mando.
3. Se integró un sistema de vigilancia el cual se compone de: cámara de video, transmisor de video, receptor de video, pantalla, antena. Se incorporó al sistema de cuadricóptero, con lo cual se consiguió un sistema de vigilancia perimetral móvil.
4. Se presentaron los pasos con diagramas de conexión necesarios para la construcción y configuración del sistema de vigilancia perimetral, siendo los siguientes: instalación de los componentes y construcción del marco;

configuración del sistema de radio control, controladora de vuelo y variador de velocidad.

5. Se establecieron las consideraciones de: batería de polímero de litio, cuidados y proceso de carga; sistema de cuadricóptero, calibración y ajustes, controles y pilotaje; sistema de vigilancia perimetral, encendido/apagado, limitación en tiempo de vuelo a 20 minutos, alcance a 500 metros a la redonda.

## RECOMENDACIONES

1. Se deberá contar con baterías extras, para los dos tipos de baterías, utilizadas por el sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado. Esto con el fin de alargar tanto la vida útil de las baterías como también el tiempo de uso continuo del sistema, al poder intercambiar rápidamente una batería descargada por una cargada.
2. Revisar periódicamente la web de MultiWii por posibles actualizaciones de software en el siguiente *link*: <https://code.google.com/p/multiwii/>.
3. Realizar el siguiente mantenimiento periódicamente, limpieza del radio control en especial el área de las palancas analógicas, realizar un proceso completo de carga-descarga-carga a las baterías, verificar y apretar los tornillos del cuadricóptero, verificar y reemplazar las hélices de los motores.
4. Tener un manual de usuario disponible.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALCALÁ BASELGA, Eugenio. *Seguridad privada*. [en línea]. <<http://www.paginasamarillas.com.gt/busqueda/seguridad+privada>>. [Consulta: 11 de enero de 2015].
2. ALEGSA, Leandro. *Sistemas*. [en línea]. <<http://www.alegsa.com.ar/Dic/sistema.php>>. [Consulta: 17 de julio de 2014].
3. BALENZIAGA, Julen. *Baterías de litio (Li-Ion ó Li-Po)*. [en línea]. <<http://www.eldemonionegro.com/blog/archivos/2007/01/15/baterias-de-litio-li-ion-o-li-po>>. [Consulta: 19 de julio de 2014].
4. CORREA A., Guillermo. *Seguridad y vigilancia*. [en línea]. <<http://html.rincondelvago.com/seguridad-y-vigilancia.html>>. [Consulta: 18 de julio de 2014].
5. DIAZ, Jara. *Arduino*, [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>>. [Consulta: 11 de enero de 2015].
6. GOSSELIN, Brian. *ESC: Variador de motor*. [en línea]. <<http://tallerdedalo.es/web/ESC>>. [Consulta: 19 de julio de 2014].
7. OTAL FERNÁNDEZ, Jorge. *Motores Brushless*. [en línea]. <<http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>>. [Consulta: 19 de julio de 2014].

8. RIVAS, Enrique. *Qué es la seguridad*. [en línea]. <<http://www.forodeseguridad.com/artic/discipl/4163.htm>>. [Consulta: 17 de julio de 2014].
9. RUEZGA BARBA, Antonio. *Significado de seguridad*. [en línea]. <<http://www.significados.info/seguridad/>>. [Consulta: 17 de julio de 2014].
10. SALAZAR MOPOSITA, Byron Genaro. *Ángulos de navegación*. [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulos\\_de\\_navegaci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulos_de_navegaci%C3%B3n)>. [Consulta: 11 de enero de 2015].
11. Wikipedia, *Hélice (dispositivo)*. [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice\\_%28dispositivo%29](http://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice_%28dispositivo%29)>. [Consulta: 19 de julio de 2014].
12. \_\_\_\_\_. *Helicoptero*. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Helic%C3%B3ptero>>. [Consulta: 19 de julio de 2014].
13. \_\_\_\_\_. *Quadrirotor*. [en línea]. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Cuadricoptero>>. [Consulta: 19 de julio de 2014].
14. \_\_\_\_\_. *Vehículo aéreo no tripulado*. [en línea]. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_a%C3%A9reo\\_no\\_tripulado](http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_a%C3%A9reo_no_tripulado)>. [Consulta: 19 de julio de 2014].

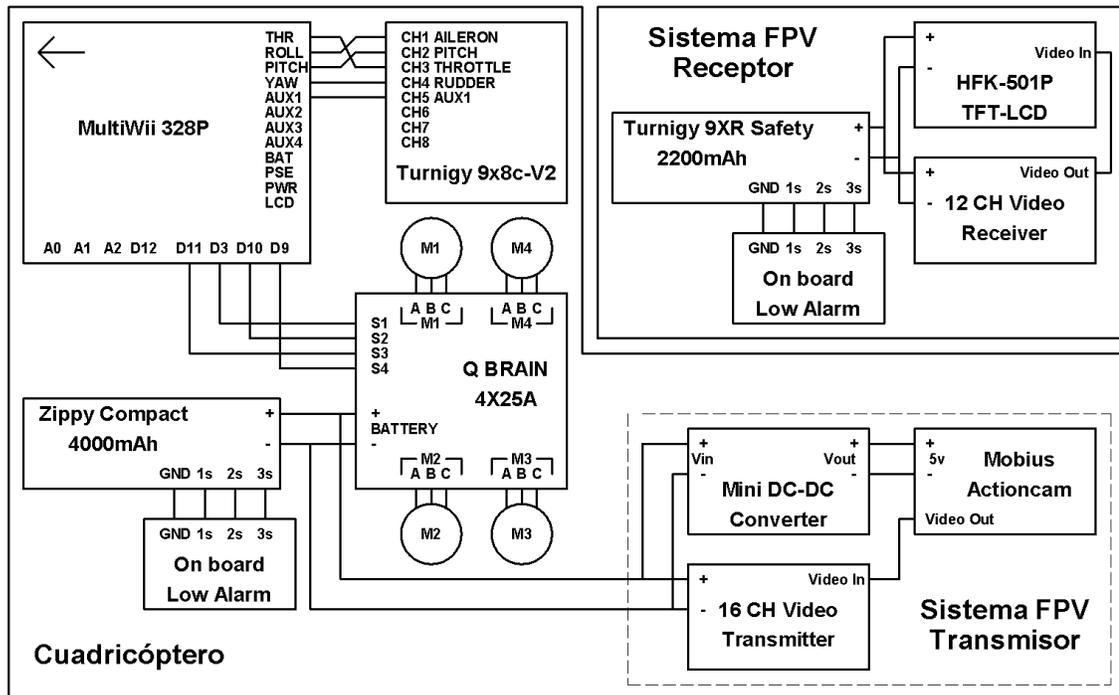
15. \_\_\_\_\_ . *Vigilancia*. [en línea].  
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Vigilancia>>. [Consulta: 18 de julio de 2014].



## APÉNDICES

Diagrama de conexión del sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado.

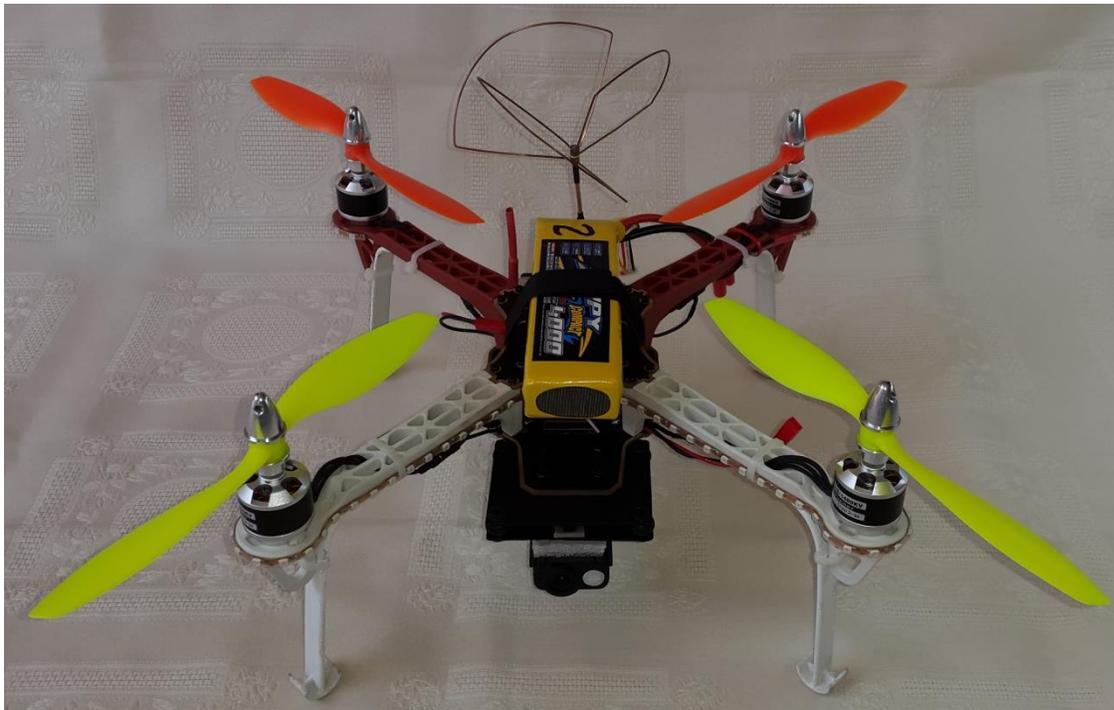
Apéndice 1. Diagrama de conexión



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Montaje final del sistema de vigilancia perimetral asistido por vehículo aéreo no tripulado.

## Apéndice 2. Cuadricóptero-FPV transmisor



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Radio control-FPV receptor



Fuente: elaboración propia.

