



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Diseño e implementación de un sistema de videovigilancia usando un
vehículo aéreo no tripulado y WSN**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Villagómez Chávez, Jonathan Steeven

DIRECTOR: Quiñones Cuenca, Manuel Fernando

LOJA - ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero

Manuel Fernando Quiñones Cuenca

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de un sistema de videovigilancia usando un vehículo aéreo no tripulado y WSN, realizado por Villagómez Chávez Jonathan Steeven, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 2017

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Villagómez Chávez Jonathan Steeven, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Diseño e implementación de un sistema de videovigilancia usando un vehículo aéreo no tripulado y WSN, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Manuel Fernando Quiñones Cuenca, director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f):

Autor: Villagómez Chávez Jonathan Steeven

Cédula: 1105646200

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi madre por ser la inspiración de mi vida que me impulsa a ser mejor día a día, porque ha estado a mi lado en cada paso importante que doy en mi vida; a mi abuelito Ángel y a mi hermano Daniel porque siempre me brindaron el amor de padre y me cuidaron todo el tiempo que estuvieron a mi lado; a toda mi familia que han sabido apoyarme siempre y me han forjado de buenos valores; a Ximena por brindarme todo su cariño y apoyo impulsándome a ser una mejor persona, a todos mis amigos y compañeros que desde el primer día de este largo caminar en la vida universitaria supieron apoyarme y darme una voz de aliento para seguir adelante.

Jonathan Villagómez

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia que han unido todos sus esfuerzos y se han sacrificado día a día para que yo llegue a culminar esta etapa de mi vida.

A mi director de tesis y amigo: Ing. Manuel Quiñones, quien supo brindar su confianza y tiempo para guiarme en la realización de este trabajo.

A todos mis maestros y amigos que supieron brindarme todo su tiempo y conocimientos para llegar a ser un gran profesional y una gran persona.

Jonathan

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
ACRÓNIMOS.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. CAPÍTULO I.....	6
1.1. Objetivos.....	7
1.1.1. Objetivo general.....	7
1.1.2. Objetivos específicos.....	7
1.2. Justificación.....	7
1.3. Metodología.....	8
1.4. Trabajos relacionados.....	9
1.4.1. Control de vehículos aéreos no tripulados para la vigilancia del tráfico en carreteras.....	9
1.4.2. Sistema de monitoreo web con sensores basado en VANT.....	9
1.4.3. Video vigilancia en tiempo real basado en VANT sobre una red 4G LTE.....	10
1.4.4. Sistema de monitoreo de WSN-UAV con formación de bandas colaborativas y multilateración basada en ADS-B.....	10
1.4.5. Tecnología de vehículos aéreos no tripulados utilizando redes de sensores inalámbricos.....	10
2. CAPÍTULO II.....	12
2.1. Red de Sensores Inalámbricos (WSN).....	13
2.1.1. Características de una WSN.....	13
2.1.2. Topologías de una red de sensores.....	13
2.1.2.1. Topología estrella.....	14
2.1.2.2. Topología malla.....	14
2.1.3. Arquitectura de una red de sensores inalámbricos.....	14
2.1.4. Estándares y protocolos de comunicación en WSN.....	15

2.1.4.1.	Zigbee	15
2.1.4.2.	DigiMesh	16
2.1.5.	Software en WSN.	17
2.2.	Vehículo aéreo no tripulado.....	18
2.2.1.	Componentes de un VANT	18
2.2.2.	Tipos de VANT	19
2.2.3.	Quad-rotor.	20
2.2.3.1.	Modelo matemático de un quad-rotor.	20
2.3.	Tipos de sensores.....	22
2.3.1.	Sensores usados para monitoreo y vigilancia.	22
2.3.1.1.	Sensores de presencia.	23
2.3.1.2.	Sensores piezo-resistivos.....	23
2.3.1.3.	Sensores ultrasónicos.	24
3.	CAPÍTULO III.....	25
3.1.	Introducción.	26
3.2.	Especificaciones del sistema.....	26
3.3.	Arquitectura de hardware del sistema.	28
3.4.	Selección de componentes de la WSN	31
3.4.1.	Selección de tarjeta de procesamiento de los datos obtenidos de los sensores.....	31
3.4.2.	Selección de sensores.....	32
3.4.2.1.	Sensor acelerómetro.	32
3.4.2.2.	Sensor flexo-resistivo.	33
3.4.2.3.	Sensor de presencia (PIR).....	34
3.5.	Selección de componentes del VANT.	34
3.5.1.	Estructura del VANT.....	35
3.5.2.	Motores brushless.	35
3.5.3.	Controladores electrónicos de velocidad (ESC).....	37
3.5.4.	Tarjeta controladora de vuelo.	38
3.5.5.	Módulo GPS.	39
3.5.6.	Módulos de telemetría	39
3.5.7.	Módulo OSD.....	41
3.6.	Ensamblaje de componentes y configuración del VANT.	42
3.6.1.	Conexión de motores y configuración del sentido de rotación.	42
3.6.2.	Conexión de los controladores electrónicos de velocidad.....	43
3.6.3.	Conexión de entradas digitales del control RC.	44
3.6.4.	Configuración inicial de la tarjeta APM 2.6.....	44

3.6.5.	Calibración del acelerómetro	45
3.6.6.	Calibración de la brújula (Compass)	45
3.6.7.	Obtención y transmisión de video	46
3.7.	Programación de la plataforma Waspote.....	46
3.7.1.	Sensor flexo resistivo.....	48
3.7.2.	Sensor de presencia PIR HC-SR501.....	50
3.7.3.	Sensor de temperatura.....	50
3.7.4.	Acelerómetro LIS3331LDH.....	51
3.7.5.	Comunicación con el módulo XBee.....	52
3.7.5.1.	Estructura de la trama.....	52
3.7.5.1.1.	Información de la cabecera.....	53
3.7.5.1.2.	Información del payload.....	53
3.8.	Programación de la interfaz en el software LabVIEW.....	53
3.8.1.	Elementos de la programación.....	54
3.8.2.	Funcionamiento del programa	55
3.8.3.	Adquisición y visualización de imágenes de video.....	57
3.9.	Interfaz del software Mission Planner.....	57
3.10.	Cálculo de tiempo de vuelo del VANT.....	58
4.	CAPÍTULO IV	60
4.1.	Introducción.....	61
4.2.	Pruebas de alcance de control y telemetría del VANT.....	61
4.3.	Pruebas de alcance del sistema de comunicación de la WSN.....	64
4.4.	Pruebas de alcance de transmisión y recepción del video del VANT.....	68
4.5.	Pruebas de autonomía del Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT).....	69
4.6.	Pruebas de medición de tiempos de vuelo del VANT a cada uno de los nodos.....	70
4.7.	Pruebas de recepción de datos en la interfaz de LabVIEW y prueba general del sistema.....	72
	CONCLUSIONES.....	76
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	78
	ANEXOS.....	81
	ANEXO A: BLOQUES UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DEL VI DE LABVIEW.....	82
	ANEXO B: PROGRAMACIÓN DE LOS MODULOS XBEE S3B.....	84
	ANEXO C: DATOS DE EQUIPOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Etapas del desarrollo del trabajo de titulación.....	9
Figura 2.1. Topologías comunes de redes de sensores inalámbricos.....	14
Figura 2.2. Componentes básicos de un nodo.....	15
Figura 2.3. Tipos de nodos en el protocolo ZigBee.....	16
Figura 2.4. Nodos en DigiMesh.....	17
Figura 2.5. Vehículo aéreo no tripulado.....	18
Figura 2.6. Tipos de VANT.....	19
Figura 2.7. Estructura inercial y física del quad-rotor.....	20
Figura 2.8. Mecanismo de medición del sensor PIR.....	23
Figura 2.9. Sensor con diafragma de silicio monolítico.....	23
Figura 2.10. Funcionamiento del sensor ultrasónico.....	24
Figura 3.1. Esquema del sistema a implementar.....	26
Figura 3.2. Diagrama de bloques de la arquitectura a implementar.....	27
Figura 3.3. Arquitectura de Hardware VANT.....	28
Figura 3.4. Arquitectura de hardware estación base parte LABVIEW.....	29
Figura 3.5. Arquitectura de la estación base parte Mission Planner.....	30
Figura 3.6. a) Vista posterior tarjeta WASPMOTE PRO v1.2 y b) Vista frontal tarjeta WASPMOTE PRO v1.2.....	31
Figura 3.7. Acelerómetro LIS331DLH de la tarjeta Waspnote.....	32
Figura 3.8. Sensor flexo-resistivo 2.2".....	33
Figura 3.9. Estados del sensor flexo-resistivo.....	33
Figura 3.10. Sensor PIR.....	34
Figura 3.11. Estructura del VANT F450 mm.....	35
Figura 3.12. Motor brushless Emax MT2216.....	36
Figura 3.13. Características físicas del motor Emax MT2216.....	36
Figura 3.14. Controlador electrónico de velocidad.....	37
Figura 3.15. Anchos de pulso y su equivalencia en ángulo de un servo-motor.....	37
Figura 3.16. Tarjeta controladora APM 2.6.....	38
Figura 3.17. Modulo GPS UBLOX 6M.....	39
Figura 3.18. Módulos de telemetría HKPilot 915 MHz.....	40

Figura 3.19. Cámara FPV HS1177.....	40
Figura 3.20. Módulo minimOSD.....	41
Figura 3.21. Diagrama de conexión del OSD.....	42
Figura 3.22. Configuración del sentido de rotación de un motor brushless.....	42
Figura 3.23. Configuración de giro y posición de los motores.....	43
Figura 3.24. Conexión de los ESC en la PDB.....	43
Figura 3.25. Salidas de señal PWM para control de los ESC.....	44
Figura 3.26. Entradas analógicas de la tarjeta APM.....	44
Figura 3.27. Ventana de calibración de la Brújula.....	45
Figura 3.28. Representación de una señal modulada en WFM.....	46
Figura 3.29. Diagrama de flujo, nodos WSN.....	47
Figura 3.30. Sockets para sensores de la smart metering sensor board 2.0.....	47
Figura 3.31. Voltaje en función del grado de flexión.....	49
Figura 3.32. Código del sensor flexo-resistivo.....	50
Figura 3.33. Voltaje de salida en función de la temperatura.....	51
Figura 3.34. Código sensor de temperatura.....	51
Figura 3.35. Código sensor acelerómetro.....	52
Figura 3.36. Estructura de un frame ASCII.....	53
Figura 3.37. Estructura del frame ASCII enviado.....	53
Figura 3.38. Diagrama de flujo de la interfaz desarrollada en LabVIEW.....	54
Figura 3.39. Bloques utilizados en la programación del parte del VI de LabVIEW.....	55
Figura 3.40. Interfaz para el control y monitorización de los nodos de la WSN.....	56
Figura 3.41. Cuadro de visualización de la posición del nodo en alerta usando Google Maps.....	56
Figura 3.42. a) Bloques utilizados para la adquisición de video y b) Interfaz de visualización del video obtenido del VANT.....	57
Figura 3.43. Interfaz del software Mission Planner.....	58
Figura 4.1. Ubicación del VANT para la realización de las pruebas.....	61
Figura 4.2. Ubicación de cada punto donde se realizaron las mediciones.....	62
Figura 4.3. Nivel de señal obtenido a los 50 m de distancia.....	63
Figura 4.4. Ubicación de la estación base y de los nodos que componen la WSN.....	65
Figura 4.5. Prueba de cobertura obtenida a 100 m de distancia.....	66
Figura 4.6. Prueba de cobertura obtenida a 200 m de distancia.....	67

Figura 4.7. Prueba de cobertura obtenida a 300 m de distancia.....	67
Figura 4.8. Ubicación del VANT durante la prueba de vuelo.....	69
Figura 4.9. Prueba de autonomía del VANT.....	70
Figura 4.10. Estado del VANT luego de la prueba de autonomía.....	70
Figura 4.11. Ubicación del VANT y de los nodos dela WSN durante misión de vuelo.....	71
Figura 4.12. Vista aérea de las ubicaciones de los nodos durante la prueba de tiempos de vuelo.....	71
Figura 4.13. Prueba 1 de funcionamiento de la recepción de datos de la WSN.....	72
Figura 4.14. Prueba 2 de funcionamiento de la recepción de datos de la WSN.....	73
Figura 4.15. Ubicación del nodo en alerta.....	73
Figura 4.16. Ubicación del VANT y de los nodos dela WSN durante misión de vuelo.....	74
Figura 4.17. Vista aérea del nodo 2 durante el proceso de videovigilancia.....	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Lista de frecuencias usadas en un VANT.....	19
Tabla 3.1. Especificaciones del VANT.....	29
Tabla 3.2. Comparativa entre tarjeta Arduino, Arduino Mega y Waspmote.....	31
Tabla 3.3. Voltaje suministrado por cada socket.....	48
Tabla 4.1. Resultados de la prueba de alcance de control.....	63
Tabla 4.2. Resultados prueba de alcance de telemetría.....	64
Tabla 4.3. Resultados prueba de alcance de transmisión de video.....	68
Tabla 4.4. Resultados de la prueba de alcance de comunicación de la WSN.....	69
Tabla 4.5. Resultados de la prueba de medición de tiempos de vuelo.....	72
Tabla 4.6. Datos obtenidos del vuelo del VANT.....	75

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza el diseño y la implementación de un sistema de videovigilancia utilizando un VANT de tipo quad-rotor de vuelo autónomo en conjunto con una red de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network) basada en tecnología DigiMesh. El uso de estas tecnologías permite una rápida y eficiente integración de los dispositivos dentro de la red que se encuentra desplegada en una región o zona de interés. Este sistema consta de 2 interfaces para la visualización y control de los procesos que intervienen en el sistema: la primera desarrollada en el software LabVIEW para la visualización de las variables a medir en cada nodo, la posición geográfica en el mapa de los nodos y el video aéreo obtenido por el VANT, y la segunda interfaz utilizada para controlar y programar las misiones autónomas a realizar por el VANT. Este sistema puede ser aplicado en zonas de riesgo, zonas industriales y en diversas áreas de la actividad humana, con la finalidad de obtener información del estado de la zona que se encuentre en monitoreo.

PALABRAS CLAVE: VANT, WSN, Video-vigilancia, Sensores, DigiMesh , LabVIEW.

ABSTRACT

In the present university work was developed the desing and implementation of a video-surveillance system using a UAV Type quad-rotor of autonomous flight in conjunction with a wireless sensor network technology-based DigiMesh. The use of these technologies enables a quick and efficient integration of devices within the network is deployed in a region or area of interest. This system consists of 2 interfaces for visualization and control of the processes involved in the system: the first developed in LabVIEW Software for the visualization of the variables to be measured on each node, the geographical position in the map of the nodes and the aerial video obtained by the UAV, and the second interface used for control and programming missions to be carried out by the autonomous UAV. This system can be applied in high risk areas, industrial areas and in various areas of human activity, with the purpose of obtaining information of the state of the area that is in monitoring.

KEYWORDS: UAV, WSN, Video-surveillance, Waspote, Sensors. DigiMesh, LabVIEW.

ACRÓNIMOS

WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
PDB	<i>Power Distribution Board</i>
ESC	<i>Electronic Speed Controller</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
VANT	<i>Vehículo Aéreo No Tripulado</i>
FPV	<i>First Person View</i>
RC	<i>Radio Control</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
CW	<i>Clockwise</i>
CCW	<i>Counterclockwise</i>
PID	<i>Proportional–Integral–Derivative</i>
CPU	<i>Unidad Central de Procesamiento</i>
APM	<i>ArduPilotMega</i>
OSD	<i>On Screen Display</i>
RPM	<i>Revoluciones Por Minuto</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
TVL	<i>Television Lines</i>
LQR	<i>Linear-Quadratic Regulator</i>
GFSK	<i>Modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana</i>
FCS	<i>Flight Control System</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>

INTRODUCCIÓN

El uso de los VANT y las WSN para procesos de video-vigilancia constituyen una de las opciones más convenientes para la obtención de datos e imágenes para el monitoreo de zonas de gran relevancia, zonas de riesgo, zonas industriales o militares. Estos sistemas pueden ser aplicados en diversas áreas de la actividad y seguridad humana como estudios científicos, tácticas de rescate y control de áreas de riesgo, ya que al utilizar un VANT permite realizar misiones de vuelo de piloto automático sin poner en riesgo la integridad del piloto u operador; se obtiene imágenes y datos de sitios donde el personal humano o equipo terrestre no puede acceder. Esta tecnología permite vincular varios módulos de comunicación y control para la transmisión de imágenes y obtención de información cualitativa y cuantitativa del estado real de la emergencia, lo que permite que el tiempo de respuesta a una eventualidad sea más rápido que los mecanismos habituales, ayudando a fijar políticas de acción, y mejorar el uso del recurso humano para tratar de controlar y remediar la emergencia.

En este trabajo de titulación se trata de brindar una visión clara de los beneficios de utilizar un VANT en conjunto con una red de sensores desplegada en un sector industrial o en una ciudad para el correcto manejo, control y visualización de las variables de importancia de la zona, para de esta manera mantener el área asegurada.

El presente trabajo de titulación se encuentra estructurado de la siguiente forma:

En el primer capítulo se fijan los objetivos que se pretende alcanzar y el método de investigación usado para cumplir con los objetivos propuestos.

En el segundo capítulo se expone los trabajos relacionados publicados en revistas científicas, documentos técnicos, acerca de redes de sensores inalámbricos, sistemas de video vigilancia, y sistemas de comunicación. También se realiza una breve conceptualización de los temas que forman parte de este trabajo de titulación para tener una visión más clara de las estructuras que componen el mismo.

En el tercer capítulo se detallan los componentes y el diseño del sistema así como las especificaciones técnicas de todos los equipos que van a ser usados en conjunto para desarrollar el presente trabajo.

En el cuarto capítulo se muestra la implementación del sistema y el funcionamiento del hardware y software que lo componen.

En el quinto capítulo se describen las pruebas de laboratorio realizadas durante el proceso de implementación, detallando los resultados obtenidos en cada uno de los análisis de las plataformas que intervienen en el proceso.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas al tomar en cuenta los problemas y dificultades que se han encontrado en el transcurso del trabajo de titulación.

1. CAPÍTULO I
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo general.

Desarrollar e implementar un sistema de video-vigilancia usando un vehículo aéreo no tripulado y WSN.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Realizar un estudio actual de tecnologías de sensores, comunicaciones y proyectos similares.
- Establecer la arquitectura del sistema utilizando un vehículo aéreo no tripulado y una red inalámbrica de sensores.
- Seleccionar los componentes de hardware y software para el desarrollo del sistema.
- Desarrollar un VANT como plataforma de obtención de imágenes de video.
- Implementar y desplegar la red inalámbrica de sensores y del sistema de video-vigilancia basado en VANT.
- Desarrollar una interfaz para el monitoreo de los datos y alarmas obtenidos de la WSN.
- Desplegar un sistema para el control de ruta de vuelo autónomo para el VANT.
- Evaluar el funcionamiento del sistema en un ambiente de laboratorio para su posterior despliegue en ambientes reales.
- Analizar los resultados del sistema.

1.2. Justificación

Los sistemas de videovigilancia con cámaras de video tradicionales proporcionan la capacidad de observar la actividad en curso dentro de una escena o situación de emergencia y proporcionan un rango definido de espacio, además de tener la capacidad de controlar automáticamente la cámara para rastrear la actividad. Sin embargo, las altas velocidades de transmisión de datos requeridas y el campo de visión relativamente pequeño de las cámaras de vídeo, presentan nuevos retos técnicos que deben superarse antes de que dichos sistemas puedan ser ampliamente utilizadas en el campo de la seguridad y control civil o industrial [1], sin dejar de lado los altos costes de los equipos necesarios para crear un circuito cerrado de videovigilancia. Además de situaciones de emergencia donde los mecanismos y sistemas de comunicación pueden fallar, el no tener acceso a información exacta del estado de la emergencia puede provocar un mal direccionamiento de los recursos materiales y humanos que son de vital importancia para mitigar el problema o emergencia de una manera rápida y eficiente.

Es por esto que en este trabajo de titulación se propone un sistema de video-vigilancia compuesto por un VANT y una WSN, con la finalidad de monitorear constantemente y en tiempo real las zonas abarcadas dentro del rango de cobertura de la WSN para que al momento de ocurrir una emergencia o anomalía en uno de los nodos, permita conocer la ubicación exacta del nodo y que variables se encuentran fuera de los rangos normales definidos en el sistema. Para ello el operador a través de un comando dirige el VANT hacia la ubicación del nodo, para obtener imágenes de video aéreas en tiempo real de la zona y así se pueda obtener una imagen amplia y clara de la emergencia y de lo que realmente está sucediendo en la zona.

El uso de estos sistemas permite generar estrategias óptimas, fijar rutas de acceso hacia la zona y fijar políticas de acción para controlar y tratar de solucionar la emergencia de una manera rápida y eficiente, minimizando costos de operación que conlleva la instalación de cámaras de video convencionales.

Finalmente, estas tecnologías prestan grandes beneficios al control y a la seguridad humana, ya que pueden funcionar en ambientes hostiles donde el acceso, suministro energético o las comunicaciones fallen.

1.3. Metodología

En este trabajo de investigación, se emplea la metodología de avance por etapas, las mismas que son descritas a continuación:

Etapas de investigación: en la primera etapa se realiza la búsqueda y acumulación de información para desarrollar el diseño del sistema a implementar. Se recopila información de documentos técnicos, trabajos de investigación científica, donde se ha obtenido la información necesaria sobre los componentes y sistemas de comunicación, para seleccionar los componentes y sistemas, cuyas funciones y arquitectura permitan desarrollar y cumplir los objetivos previamente propuestos.

Etapas de desarrollo: en esta etapa se realiza el diseño y programación del VANT, de la WSN, del sistema de transmisión y recepción de video y de los datos de la WSN. Para el desarrollo del sistema de control, de visualización de las variables y del proceso de vinculación de la interfaz de Mission Planner con todo el sistema, se usa la plataforma LabVIEW.

Etapas de documentación: en esta etapa se realizan las pruebas de funcionamiento del sistema usando varios escenarios de prueba, documentando y realizando un análisis entre los diversos niveles de potencia utilizados en los sistemas de transmisión y recepción de video y de datos, los tiempos de vuelo del VANT hacia los nodos que componen la WSN, así como

la pruebas de autonomía del sistema, para así definir las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

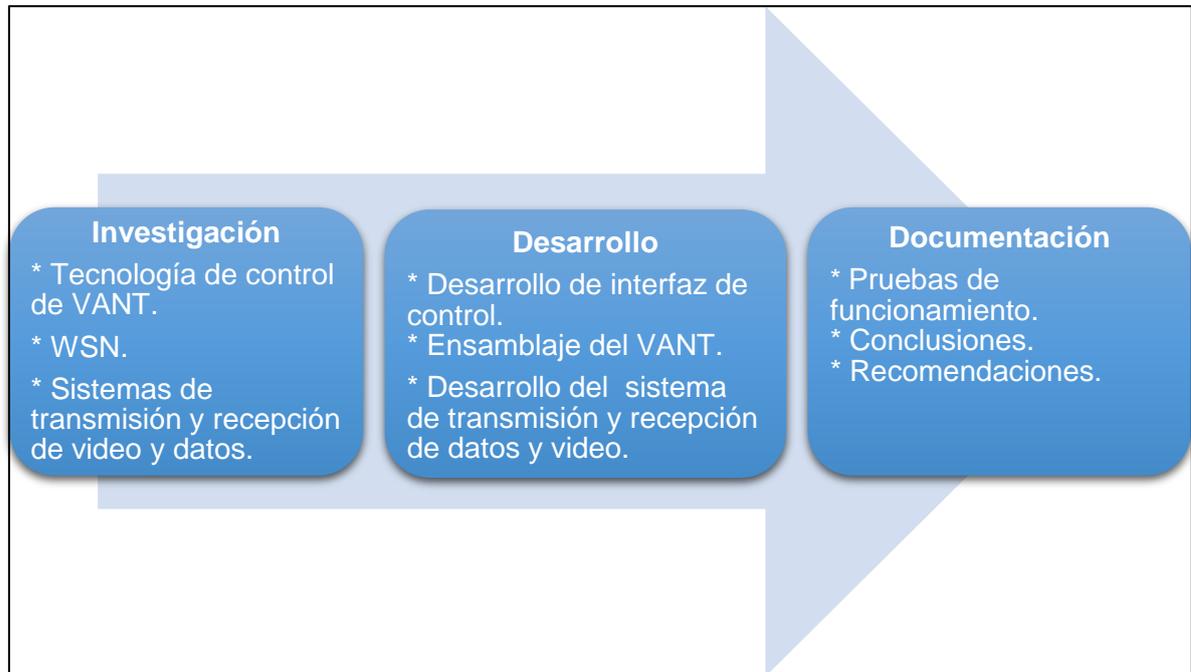


Figura 1.1. Etapas del desarrollo del trabajo de titulación.

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

1.4. Trabajos relacionados.

1.4.1. Control de vehículos aéreos no tripulados para la vigilancia del tráfico en carreteras.

Este documento tiene como objetivo presentar una aproximación a la organización de la vigilancia del tráfico por medio de vehículos aéreos no tripulados, que se basa en el control automático de la situación. La investigación incluye el análisis de métodos existentes de detección automática, de la emergencia y situaciones anormales de circulación vehicular con VANT's y usando un sistema de visión artificial que complementa el sistema [2].

1.4.2. Sistema de monitoreo web con sensores basado en VANT.

Este trabajo presenta un sistema de un vehículo aéreo no tripulado VANT, que realiza la función de monitorización, este se desarrolló como un sistema intermedio entre el reconocimiento aéreo y la inspección terrestre. Todas las herramientas de medición están montados en el VANT para adquirir información detallada de baja altura que es diferente a los datos de un satélite o un avión. El monitoreo se lleva a cabo desde el aire, pero las resoluciones espaciales y temporales se eligen libremente cerca del suelo. En este estudio, los datos se adquieren fácilmente con la seguridad y la movilidad por la utilización de una red

de sensores. En este estudio, el sistema basado en VANT se considera como un nodo sensor móvil. Este estudio propone una combinación de monitoreo basado en vehículos aéreos no tripulados con una red de sensores ubicuos [3].

1.4.3. Video vigilancia en tiempo real basado en VANT sobre una red 4G LTE.

La video vigilancia constante de lugares remotos y en las zonas rurales, las viviendas urbanas densas y zonas militares estratégicas, es de primordial interés para las agencias de seguridad. El monitoreo aéreo es posible mediante el uso cámaras montadas en un VANT, la transmisión de vídeo desde diferentes puntos de vista a un único centro de mando y control. En este trabajo, se presenta una arquitectura para la vigilancia de un circuito cerrado de dichos sitios, que puede consistir en múltiples posiciones interiores y exteriores mediante el uso de la red inalámbrica 4G LTE, infraestructura celular en y alrededor de los edificios que constan de varias celdas macro al aire libre y femtoceldas para construir un marco de vigilancia de circuito cerrado para la transmisión de vídeo en tiempo real. Dicho marco daría lugar a una acción oportuna de la criminalidad o la prevención de desastres. Además se investiga el rendimiento técnico de un sistema de este tipo de *streaming* de vídeo usando la métrica de caudales, las tasas de pérdida y retraso en relación con los aspectos físicos de la propagación inalámbrica; pérdida de trayectoria múltiple de propagación, el sombreado y los modelos de desvanecimiento [4].

1.4.4. Sistema de monitoreo de WSN-UAV con formación de bandas colaborativas y multilateración basada en ADS-B.

En este trabajo se presenta un sistema no tripulado con una red de sensores inalámbricos (WSN-VANT) para la monitorización remota y video-vigilancia militar. Una WSN a gran escala se despliega en un campo de batalla o una región hostil amplia para recoger la información de interés y enviarlo a un VANT. La formación de haz de colaboración (CB) se utiliza para conseguir las transmisiones tierra-aire. Una multilateración basada en la vigilancia dependiente y una radiodifusión automática en (ADS-B) se utiliza para obtener la ubicación del VANT y la información de seguimiento. Se ha encontrado que se requiere una distancia mínima entre el VANT y el WSN para el correcto funcionamiento de la CB debido a la precisión requerida y el movimiento del VANT [5].

1.4.5. Tecnología de vehículos aéreos no tripulados utilizando redes de sensores inalámbricos.

En este proyecto se describe la aplicación de un VANT controlado por una red de sensores inalámbricos. Se propone un nodo armado y sellado para evitar los ataques físicos, con el fin de evitar que se comprometan toda la red, la red es una versión modificada de LEAP para la

gestión de claves. La navegación del vehículo se llevó a cabo usando un juguete coche controlado por una mota MICAZ en su interior. La unidad GPS está conectada con el vehículo para determinar la posición y en ausencia de información del GPS se puede utilizar la posición relativa. El vehículo puede enviar directamente los mensajes al nodo receptor más cercano. El vehículo se utiliza para hacer que la aplicación sea más segura y que todos los dispositivos costosos para la aplicación se pueden incorporar con el vehículo. Este artículo muestra cómo se puede utilizar el sistema de navegación de vehículos aéreos no tripulados en aplicaciones militares y la forma en que se utiliza para detectar a los intrusos y previene varios tipos de ataques a la seguridad en el ámbito militar [6].

En base a la investigación realizada se hace evidente la necesidad de desarrollar un sistema de videovigilancia utilizando un VANT como plataforma de obtención de imágenes junto con una red de sensores distribuida en una zona de interés, es por esto que se desarrolla el presente trabajo de titulación con la finalidad desarrollar un sistema de videovigilancia que permita minimizar los costos de implementación y mejorando los tiempos de respuesta a eventualidades ofrecidos por los sistemas de videovigilancia tradicionales, usando un VANT junto con una WSN ofreciendo así un amplio espectro de visión, teniendo un sistema optimo y completamente configurable llegando a ser adaptable a cualquier región o zona de interés por ejemplo en el ámbito militar como lo muestra [6] que en su trabajo detalla cómo se puede utilizar el sistema de navegación de un VANT en aplicaciones militares y la forma en que se utiliza para detectar a los intrusos; y en trabajos futuros se puede hacer uso de la infraestructura existente de una red 4G LTE como lo propone [4] en su investigación, pudiendo llegar a proporcionar una cobertura extensa de monitoreo dentro de un circuito cerrado, optimizando tiempos de respuesta a emergencias suscitadas dentro de la zona de monitoreo.

2. CAPÍTULO II
ESTADO DEL ARTE

2.1. Red de Sensores Inalámbricos (WSN).

Una red inalámbrica de sensores o WSN (Wireless Sensor Network) es una red con numerosos dispositivos distribuidos estratégicamente, que utilizan sensores para monitorear diversas variables del entorno ya sean condiciones físicas o ambientales y de esta manera procesar dicha información y realizar una comunicación a través de enlaces inalámbricos [7].

Debido a las limitaciones de energía del sistema, los nodos se desarrollan tomando en cuenta el ahorro de energía que es una característica fundamental del dispositivo, algunos modelos permiten mantener los nodos en modo *sleep* que es un modo de bajo consumo de energía. Los nodos auto-organizan sus redes en una forma ad-hoc, en lugar de tener una topología de red previamente programada.

2.1.1. Características de una WSN.

- Limitaciones de consumo de energía para nodos que usan baterías o captación de energía.
- Habilidad para afrontar fallas en la red.
- Movilidad de los nodos.
- Topología de red dinámica.
- Heterogeneidad de los nodos.
- Escalabilidad de la red.
- Capacidad para soportar duras condiciones ambientales.
- Facilidad de uso.
- Operación autónoma.

2.1.2. Topologías de una red de sensores.

Las redes de sensores inalámbricos pueden agruparse de diferentes formas en busca de la mejor ubicación entre nodos para el envío y recepción de la información. Estas agrupaciones se denominan topologías de la red, algunas de estas se pueden ver en la Figura 2.1

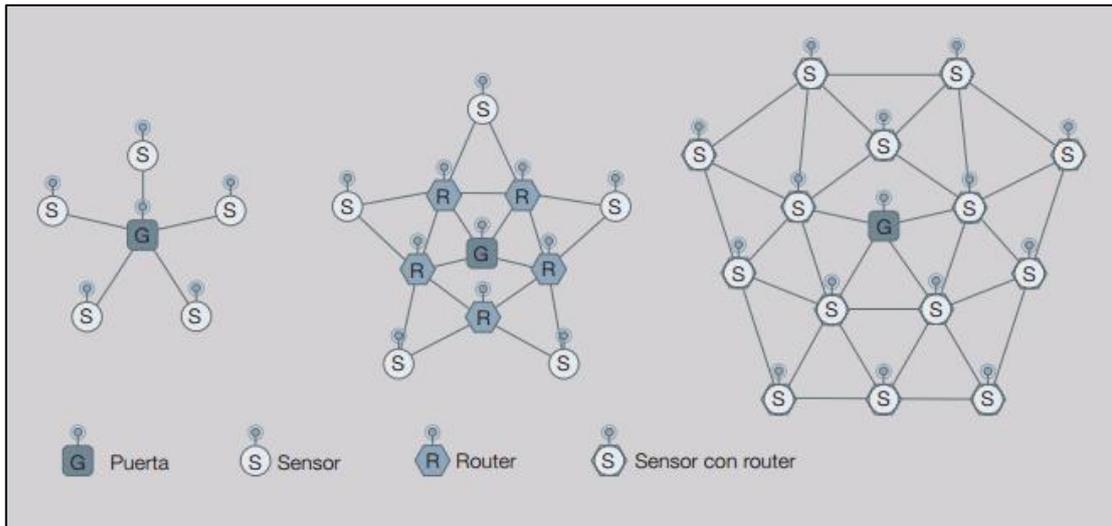


Figura 2.1. Topologías comunes de redes de sensores inalámbricos.

Fuente: Imagen tomada de [7].

Elaboración: Elaborado por [7].

2.1.2.1. Topología estrella.

En la topología de redes en estrella, los nodos inalámbricos se comunican con un dispositivo de pasarela (*gateway*) que hace de puente de comunicación con una red cableada. Una solución intermedia emergente y común de WSN es tener dispositivos encaminadores que comunican con la pasarela. Los sensores solo necesitan establecer la comunicación punto a punto con los routers y por consiguiente, pueden seguir siendo sencillos y de baja potencia, al tiempo que se mejora el rango y la redundancia de la propia red [7].

2.1.2.2. Topología malla.

La topología malla es aquella en que cada nodo puede transmitir a otro nodos. Si un nodo no tiene conexión directa con otro puede usar un intermediario quien se encargara de retransmitir el mensaje. Esta topología tiene un nivel alto de redundancia y escalabilidad. La desventaja presentada para la topología malla está en el consumo de energía y en el número de mensajes o peticiones presentes en la red [8].

2.1.3. Arquitectura de una red de sensores inalámbricos.

Las WSN se componen fundamentalmente de dispositivos pequeños, autónomos, distribuidos geográficamente, llamados nodos o motas. Estos gozan de capacidades de cómputo, almacenamiento y comunicación inalámbrica dentro de la red, e instalados alrededor de un fenómeno u objeto a monitorizar [9].

Una vez que se produzcan eventos, toma de medidas o cualquier actividad programada con el fenómeno en cuestión, la información es transformada en digital en el propio nodo, y transmitida fuera de la red, hacia un elemento coordinador llamado *gateway*, que es la

estación base donde la información puede ser almacenada y tratada temporalmente para acabar finalmente en un servidor con mayor capacidad que permite componer una secuencia histórica o realizar un análisis de datos [9].

En una WSN encontramos los siguientes componentes:

- **Nodo:** son unidades autónomas con funciones de procesamiento y de comunicación, compuestas por un microcontrolador, una fuente de energía y un elemento radio-transceptor. Véase la Figura 2.2.

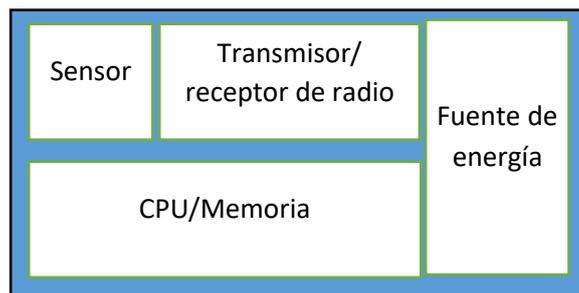


Figura 2.2. Componentes básicos de un nodo.

Fuente: Imagen tomada de [7].

Elaboración: Propia del autor.

- **Gateway o Pasarela:** Son los elementos destinados a la interconexión entre la red de sensores y una red de datos [9].
- **Estación base:** Estos actúan como puerta de enlace entre los nodos y los usuarios finales, ya que generalmente se envían los datos desde la WSN hasta un servidor. Otro componente especial en redes basadas en el enrutamiento son los enrutadores, diseñados para computar, calcular y distribuir las tablas de enrutamiento [9].

2.1.4. Estándares y protocolos de comunicación en WSN.

Varios estándares usados en comunicaciones WSN incluyen:

- Zigbee / 802.15.4
- DigiMesh
- IEEE 802.11

2.1.4.1. Zigbee

Zigbee es un conjunto de protocolos de comunicación soportados en el estándar IEEE 802.15.4 el cual define el nivel físico para redes inalámbricas de área personal (PAN) con soporte para topologías en estrella, árbol y malla. Las especificaciones de ZigBee están orientadas al bajo consumo energético y una tasa de transmisión baja hasta 250 Kbps en las bandas libres de 2.4 GHz [10].

A pesar de que ZigBee está orientado a aplicaciones de área personal, se han logrado comunicaciones de varios kilómetros en condiciones de línea directa con una potencia de transmisión de solo 50 mW [10]. Además es posible alcanzar hasta 64 Km con el uso de un puente inalámbrico (XBee XTender Wireless Bridge) especialmente diseñado para ZigBee, así permiten ampliar el alcance y seguir manteniendo el bajo consumo de redes de sensores que requieren cubrir grandes distancias y cuenta con la facilidad de ser flexible para dar soporte a las topologías de red soportadas por ZigBee en las que se pueden coordinar muchos dispositivos finales sin tener que adquirir licencias de uso de espectro radioeléctrico ya que estas trabajan dentro de las bandas libres.

El protocolo ZigBee define tres tipos de nodos: Coordinador, Router y dispositivos finales, con el requerimiento de un coordinador por red. Aunque todos los nodos puedan enviar y recibir datos, hay diferencias en los roles específicos que ellos juegan dentro de la red [11].

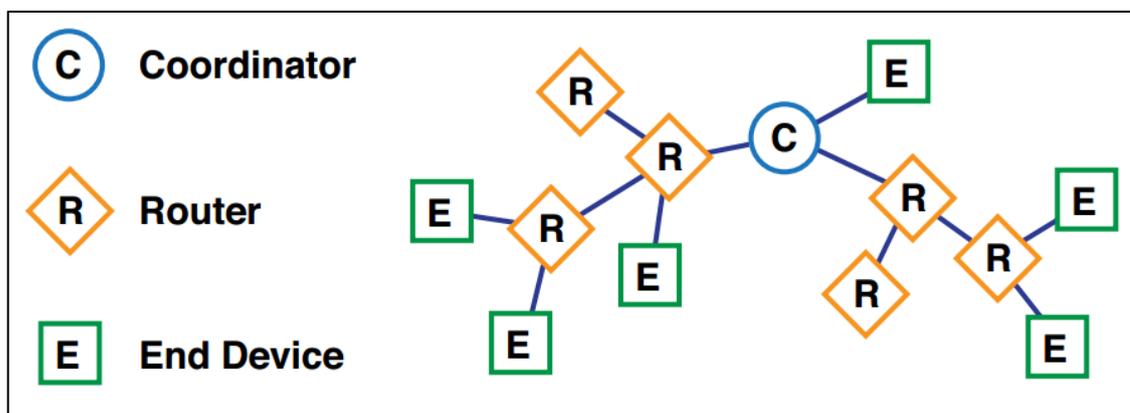


Figura 2.3. Tipos de nodos en el protocolo ZigBee.

Fuente: Imagen tomada de [11].

Elaboración: Elaborado por [11].

- **Coordinador:** Dentro de cada red existe solamente un coordinador y es el dispositivo que establece la red originalmente. Es capaz de almacenar información acerca de la red, incluyendo las claves de seguridad [11].
- **Router:** actúa como un nodo intermedio en la red, reenvía los datos de otros dispositivos dentro de la red [11].
- **Dispositivo final:** pueden ser dispositivos de baja potencia y de bajo consumo de energía. Tienen las suficientes funcionalidades para comunicarse entre dispositivos de la misma red pero no pueden comunicarse entre dispositivos de la misma clase, esta limitante en su funcionalidad reduce potencialmente su costo[11].

2.1.4.2. DigiMesh

DigiMesh creado por Digi International, se lo considera como una mejora del protocolo ZigBee. DigiMesh es capaz de trabajar dentro de topologías de redes inalámbricas tipo malla; no

individualiza en cuanto a las funcionalidades de cada dispositivo dentro de la red [10], DigiMesh tiene un solo tipo de nodo, es una red homogénea, todos los nodos pueden encaminar datos y son intercambiables. Todos pueden ser configurados como dispositivos de baja potencia y bajo consumo de energía [11].

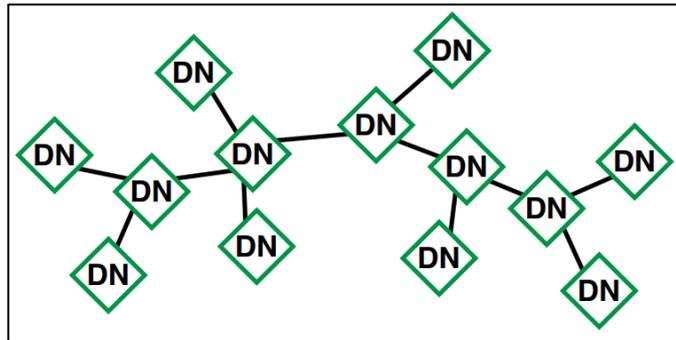


Figura 2.4. Nodos en DigiMesh.
Fuente: Imagen tomada de [11].
Elaboración: Elaborado por [11].

Además DigiMesh ofrece las siguientes ventajas:

- La configuración de la red es más sencilla.
- Mayor flexibilidad para expandir la red, cuando sea necesario.
- Incrementa la fiabilidad en ambientes donde los routers pueden ser afectados por interferencias o fallos generales.

2.1.5. Software en WSN.

La energía es el recurso más escaso en los nodos de las WSN, y esta determina el tiempo de vida de las WSN, pues estas tienen como objeto ser desplegadas en grandes números y en varios entornos, incluyendo regiones remotas y hostiles. Por esta razón, el software, los algoritmos y protocolos necesitan abordar las siguientes cuestiones:

- Maximización del tiempo de vida.
- Robustez y tolerancia a fallos.
- Autoconfiguración.

2.2. Vehículo aéreo no tripulado.



Figura 2.5. Vehículo aéreo no tripulado.

Fuente: Imagen tomada de [12].

Elaboración: Elaborado por [12].

Los vehículos aéreos no tripulados son aeronaves autónomas diseñadas bajo un requerimiento específico para cumplir una determinada misión, además de ser capaz de realizar una misión sin necesidad de tener una tripulación embarcada. Hay que considerar que esta condición no excluye la existencia de un piloto, o un controlador de misión en tierra [12].

2.2.1. Componentes de un VANT

Los VANT están compuestos por cuatro subsistemas principales, independientes a nivel de desarrollo y vinculados entre sí a nivel funcional. Dichos subsistemas son:

- **Plataforma de vuelo:** Se compone del vehículo en sí (normalmente definido como airframe o aircraft) y la carga útil a bordo de éste (cámaras y otros sensores).
- **Sistema de control de vuelo o FCS (Flight Control System):** Se compone de los sensores (IMU, Air data, etc), sistemas de posicionamiento (GPS u otros), servomecanismos, computador de abordo, etc. integrados en la plataforma de vuelo. El FCS se caracteriza por ser el encargado de georeferenciar la información adquirida por la plataforma en vuelo y contribuir al control y estabilización del UAV.
- **Sistema de comunicaciones.** Se compone de enlaces de comunicación, vía radio, entre la estación de control de tierra y el vehículo aéreo no tripulado. Se caracteriza

por ser el encargado de transferir la información adquirida por la plataforma en vuelo y garantizar la comunicación entre el centro de control y la plataforma de vuelo. Las frecuencias usadas para el control, visualización y transmisión de video se pueden observar en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Lista de frecuencias usadas en un VANT.

Frecuencias	Uso
5.8 GHz	Transmisión de video
2.4 GHz	Control del VANT
900 MHz	Telemetría

Elaboración: Propia del autor.

- Estación de control de tierra o GCS (Ground Control Station):** Se compone del conjunto de ordenadores y/o dispositivos que monitorizan y supervisan la plataforma de vuelo. Cuenta con un sistema de observación para realizar el análisis (generalmente gráfico) de la información adquirida e integrarla en una aplicación relacionada con el propósito de la misión [12].

2.2.2. Tipos de VANT

Existe una gran variedad de VANT, muchos de uso militar, en la actualidad desarrollados con todas las facilidades para un uso común, los VANT's se clasifican de acuerdo al tipo de ala rotativa que posean en su diseño como se observa en la Figura 2.6, en esta investigación se hablara más de los quad-rotors que es el tipo de VANT que se usara en el sistema a implementar.

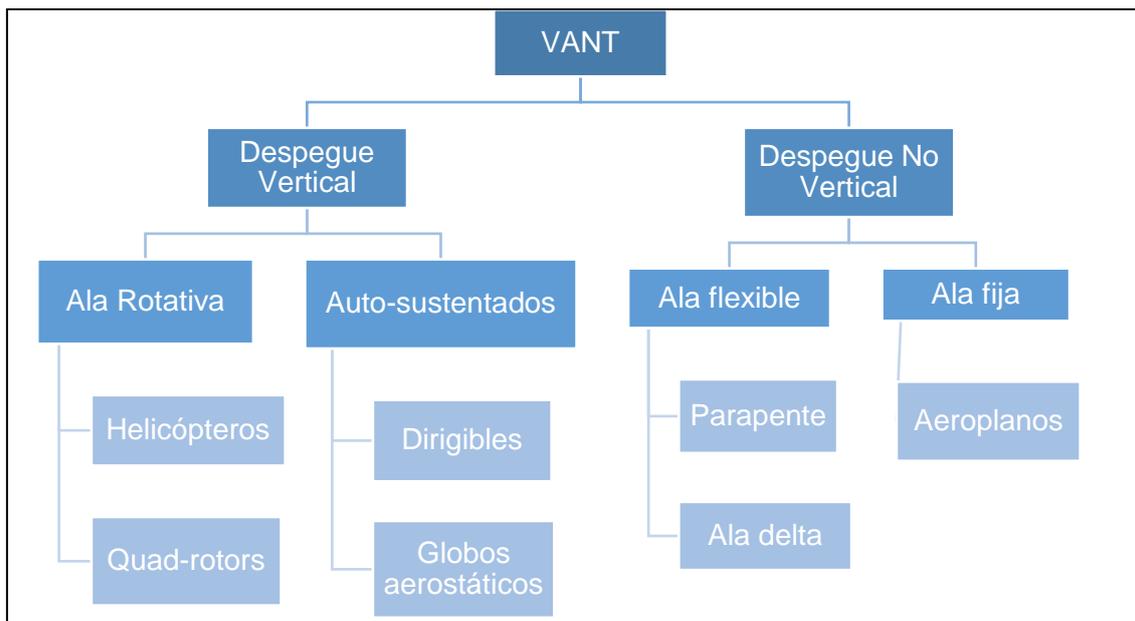


Figura 2.6. Tipos de VANT.

Fuente: Tomada de [12].

Elaboración: Propia del autor.

2.2.3. Quad-rotor.

Los quad-rotors son helicópteros de cuatro rotores. Los rotores están direccionados hacia arriba y están ubicados en una formación cuadrada con una distancia simétrica desde el centro de masa del quad-rotor [13]. Considerando como F_i la fuerza de cada uno de los motores i para $i = 1, 2, 3, 4$, de tal manera que f_1 y f_3 giran en sentido anti-horario, y f_2 y f_4 en sentido horario. Para realizar un vuelo estacionario los 4 motores giran a la misma velocidad y el empuje total de la aeronave es igual a la masa del mismo. Cuando ambos pares de motores giran a la dirección opuesta, el torque neto en la aeronave debido al arrastre de las hélices es cero [14]. La posición del quad-rotor es controlado ajustando las velocidades angulares de los rotores.

Los quad-rotors son usados en vigilancia, búsqueda y rescate, construcción, inspecciones y otras aplicaciones, por estos motivos los quad-rotors han recibido una considerable atención por los investigadores en diferentes áreas de investigación. El modelo dinámico básico del quad-rotor es el punto de partida de todos los estudios, pero un estudio más complejo abarca las propiedades aerodinámicas del mismo [13]. Diferentes métodos de control han sido introducidos incluyendo controladores PID, controladores back-stepping, controladores no lineales, controladores LQR. Los métodos de control requieren una información precisa de los valores de posición y estabilidad, variables medidas por el giroscopio y acelerómetro y otros dispositivos de medida como el GPS y sonar.

2.2.3.1. Modelo matemático de un quad-rotor.

La estructura del quad-rotor es presentado en la Figura 2.7, incluyendo las correspondientes, velocidades angulares, torques y fuerzas creadas por los cuatro rotores.

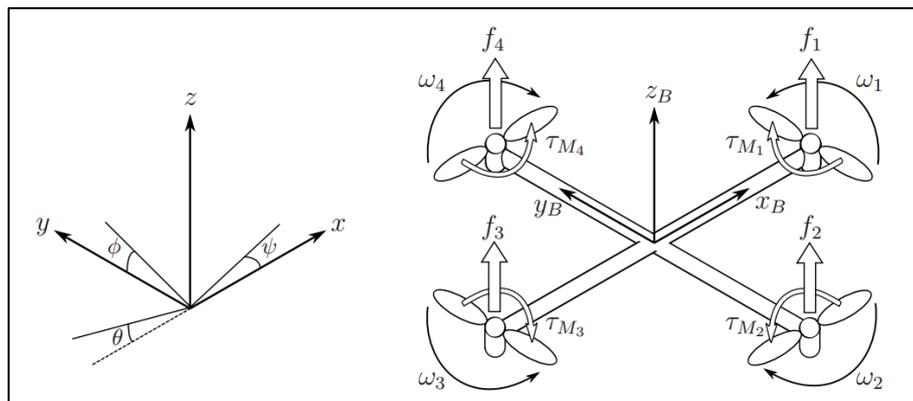


Figura 2.7. Estructura inercial y física del quad-rotor.

Fuente: Imagen tomada de [13].

Elaboración: Elaborado por [13].

La posición lineal absoluta del quad-rotor está definida por el vector inercial ξ que contiene la posición de los ejes x, y, z . La posición angular, está definida por la vector inercial η

representada con ángulos de Euler. El ángulo Pitch θ determina la rotación del quad-rotor sobre el eje y. El ángulo Roll ϕ determina la rotación sobre el eje x, y el ángulo Yaw ψ sobre el eje z. El vector q que contiene los vectores de posición lineal y angular.

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}. \quad (2.1)$$

Su centro de masa está localizado en el centro del vehículo, los efectos giroscopio son cancelados debido a la disposición de sus hélices, y los efectos externos por rozamiento con el aire son despreciables. En su estructura, las velocidades lineales son determinadas por V_B y las velocidades angulares por v .

$$V_B = \begin{bmatrix} v_{x,B} \\ v_{y,B} \\ v_{z,B} \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

La matriz de rotación a partir de la estructura física a la inercial es:

$$R = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ S_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_{C_\theta} & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

Siendo $S_x = \sin(x)$ y $C_x = \cos(x)$. La matriz de rotación R es ortogonal lo que significa que $R^{-1} = R^T$ que es la matriz de rotación a partir de la estructura inercial para la estructura física.

La matriz de transformación para las velocidades angulares desde la estructura inercial a la estructura física es W_η , y a partir de la estructura física a la estructura inercial es W_η^{-1} [13].

$$\dot{\eta} = W_\eta^{-1} v, \quad \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_\phi S_\theta & C_\phi T_\theta \\ 0 & C_\phi & -S_\phi \\ 0 & S_\phi / C_\theta & C_\phi / C_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$v = W_\eta \dot{\eta}, \quad \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -S_\theta \\ 0 & C_\phi & C_\theta S_\phi \\ 0 & -S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

En donde $Tx = \tan(x)$. La matriz W_η es invertible si $\theta \neq (2k - 1)\phi/2, (k \in Z)$.

El quad-rotor esta asumido a tener una estructura simétrica con los 4 brazos alineados con el cuerpo con los ejes x-y. Así, la matriz inercial es diagonal a la matriz I por lo que $I_{xx} = I_{yy}$

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}. \quad (2.6)$$

La velocidad angular del rotor i , es denotado con w_i y crea la fuerza f_i en la dirección del eje del rotor. La velocidad angular y aceleración del rotor también crean un torque τ_{Mi} alrededor del eje del rotor.[13]

$$f_i = kw_i^2, \quad \tau_{Mi} = bw_i^2 + I_M. \quad (2.7)$$

En donde k es la constante de elevación, la constante de arrastre es b y el momento inercial del motor es I_M . Usualmente el efecto de w_i es considerado pequeño y puede ser omitido.

La combinación de fuerzas de los rotores crean el empuje T , en la dirección del eje z del cuerpo, El torque τ_B consiste en los torques τ_ϕ , τ_θ y τ_ψ en la dirección del correspondiente ángulo de la estructura física [13].

$$T = \sum_{i=1}^4 f_i = k \sum_{i=1}^4 w_i^2, \quad T^B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$

$$\tau_B = \begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lk(-w_2^2 + w_4^2) \\ lk(-w_1^2 + w_3^2) \\ \sum_{i=1}^4 \tau_{Mi} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

En donde l es la distancia entre los rotores y el centro de masa del quad-rotor. Entonces el movimiento de *roll* es adquirido disminuyendo la velocidad del primer y segundo rotor y aumentando la del tercer y 4to. Similar para el movimiento de *pitch* es adquirido al disminuir la velocidad del rotor 1 y 4 y aumentando la del 2 y 3. El movimiento de *yaw* se adquiere al aumentar la velocidad angular de 2 rotores opuestos y disminuyendo la velocidad de los otros dos rotores [13].

2.3. Tipos de sensores

2.3.1. Sensores usados para monitoreo y vigilancia.

En los procesos de vigilancia de lugares de vivienda, trabajo, ambientes industriales o militares la principal preocupación que se tiene es brindar la seguridad tanto para el personal como para las edificaciones y otros componentes que forman parte de estos ambientes. El avance tecnológico ha permitido automatizar estos procesos con el uso de sensores como: sensores de movimiento y presencia, sensores de temperatura y humedad, sensores de apertura y cierre de puertas o sensores de flexión, permitiendo así mantener vigilados y asegurados estos ambientes de una manera más eficiente [15]. Algunas empresas se han dedicado a convertir los sistemas tradicionales de vigilancia en sistemas inteligentes, un claro ejemplo de esto es la empresa Libelium que ha desarrollado plataforma de sensores denominados “Smart Security” que incorporan algunos de los sensores antes mencionados en un sistema de tipo *Plug and Sense* que facilita la instalación de los sensores en las zonas de interés [16].

2.3.1.1. Sensores de presencia.

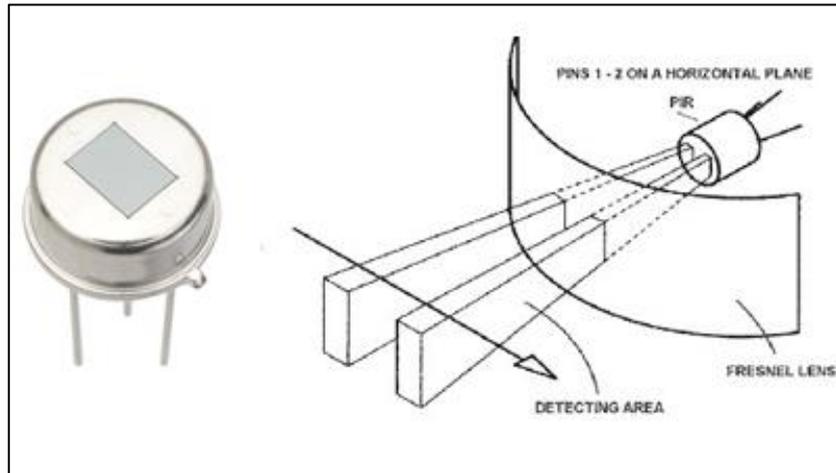


Figura 2.8. Mecanismo de medición del sensor PIR.

Fuente: Imagen tomada de [17].

Elaboración: Elaborado por [17].

Los sensores de presencia son usados para detectar intrusiones no deseadas en zonas restringidas, para estos procesos es preciso utilizar sensores infrarrojos pasivos (PIR) que son dispositivos para la detección de presencia. Son de bajo costo, pequeños, de baja potencia, y fáciles de usar. Por esta razón son frecuentemente, aplicaciones domóticas o sistemas de seguridad [17].

Los sensores PIR se basan en la medición de la radiación infrarroja. Todos los cuerpos (vivos o no) emiten una cierta cantidad de energía infrarroja, mayor cuanto mayor es su temperatura. Los dispositivos PIR disponen de un sensor piezoeléctrico capaz de captar esta radiación y convertirla en una señal eléctrica [17].

2.3.1.2. Sensores piezo-resistivos.



Figura 2.9. Sensor con diafragma de silicio monolítico.

Fuente: Imagen tomada de [18].

Elaboración: Elaborado por [18].

Un sensor piezo-resistivo es un dispositivo que hace uso de cambios en la resistividad de ciertos materiales semiconductores cuando estos se someten a una tensión mecánica para efectuar una acción electrónica. Este fenómeno piezo-resistivo se basa en que estos materiales tienden a sufrir cambios en sus características de resistencia latentes cuando se flexionan por la exposición a la presión o al estrés. Esto provoca un cambio correspondiente en cualquier corriente eléctrica que pasa a través del dispositivo, que se traduce en una medición o lectura. Los materiales semiconductores usados comúnmente en dispositivos piezo-resistivos son generalmente las mismas familias metálicas básicas y de silicio utilizados en la mayoría de componentes eléctricos [18].

2.3.1.3. Sensores ultrasónicos.

Como su nombre lo indica, los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas, pudiendo ser utilizados como sensores de proximidad, indicando si existen intrusos dentro de un perímetro no permitido y generar una alerta con los datos obtenidos del sensor. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción.

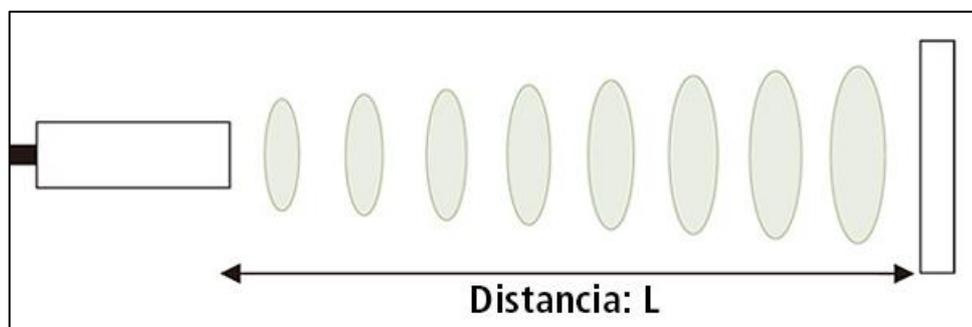


Figura 2.10. Funcionamiento del sensor ultrasónico.

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Un sensor ultrasónico utiliza un elemento ultrasónico único, tanto para la emisión como la recepción. En un sensor ultrasónico de modelo reflectivo, un solo oscilador emite y recibe las ondas ultrasónicas, alternativamente.

La presente investigación ayudara en el proceso de selección de los sensores para cada uno de los nodos que componen la WSN, para de esta manera tener monitoreadas todas las variables de relevancia dentro de un proceso de videovigilancia, para de esta manera mantener el área asegurada.

3. CAPÍTULO III
DISEÑO DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.1. Introducción.

En el presente capítulo se detallan todos los requerimientos del sistema, todo los componentes de hardware y software utilizados en desarrollo y la implementación del sistema de videovigilancia basado en VANT y WSN.

3.2. Especificaciones del sistema.

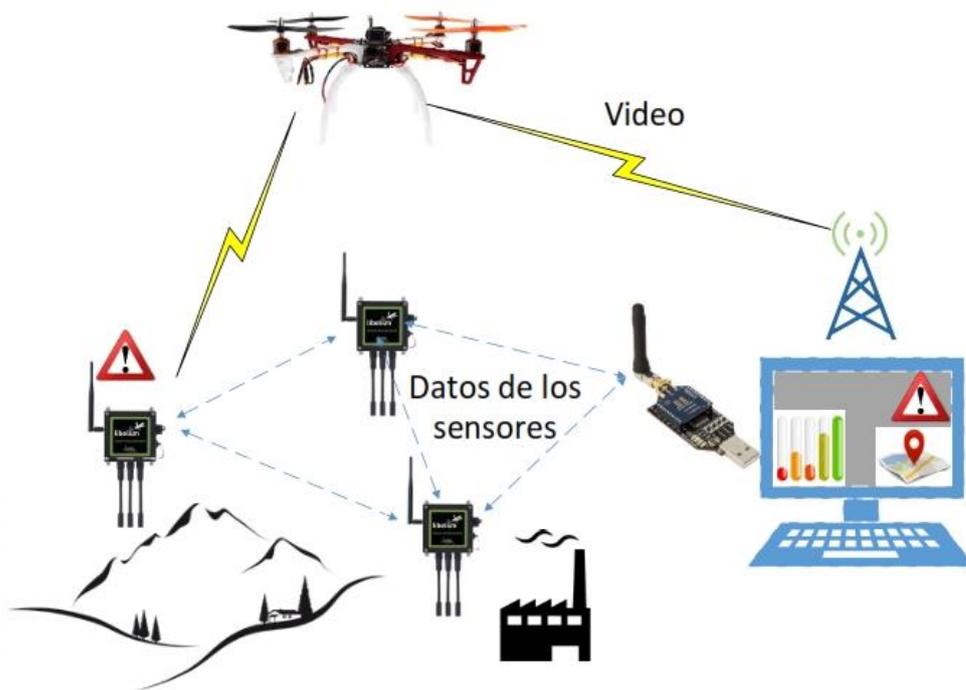


Figura 3.1. Esquema del sistema a implementar.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 3.1 se muestra el esquema del sistema a implementar, el mismo que se encarga de monitorear 4 variables en cada uno de los nodos de la zona con un rango máximo de cobertura de 300 m, la arquitectura de la red de sensores se basa en la tecnología DigiMesh, cada uno de los nodos envía los datos de cada una de las variables que son medidas al *gateway* en forma de un paquete de datos denominado *payload* en donde el operador visualiza todos los datos en tiempo real mediante una interfaz gráfica que se ha desarrollado en LabVIEW que organiza los datos del *payload* de cada nodo de la WSN en variables específicas y organizadas por grupos, al presentar anomalías o alertas se indica en la interfaz la variable que presente dicha alerta y en el mapa la ubicación geográfica del nodo que presenta dicha anomalía y así el operador programe la ruta de vuelo hacia dicho nodo.

El sistema del VANT tiene un vuelo autónomo basado en GPS, a través de la aplicación Mission Planner se indica un punto de llegada o de inspección y este traza el recorrido basado en las coordenadas dadas por el operador, a su vez tiene la facilidad de que en cualquier momento el operador pueda hacer uso del control RC y modificar su trayectoria para una mejor el monitoreo y control del VANT de acuerdo al ART. 6 del reglamento para el uso de RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia) y UAS (Sistemas de Aeronaves No Tripuladas) en el país que expresa: “Si las RPAS/UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control inmediato de la aeronave” [19], al mismo tiempo el VANT transmite el video en tiempo real obtenido desde la cámara del VANT hacia el monitor del operador, así se pueda organizar y optimizar los recurso humanos y materiales, para mitigar la emergencia.

Requerimientos del sistema:

- Autonomía de vuelo de VANT: 14 min.
- Radio de monitoreo WSN y control VANT: 300 m y expandible.
- Tipo de sensores: Vibraciones, temperatura, sensor flexoresistivo, sensor de presencia (PIR).
- Tipo de cámara: cámara FPV 700 TVL.

3.3. Arquitectura de hardware del sistema.

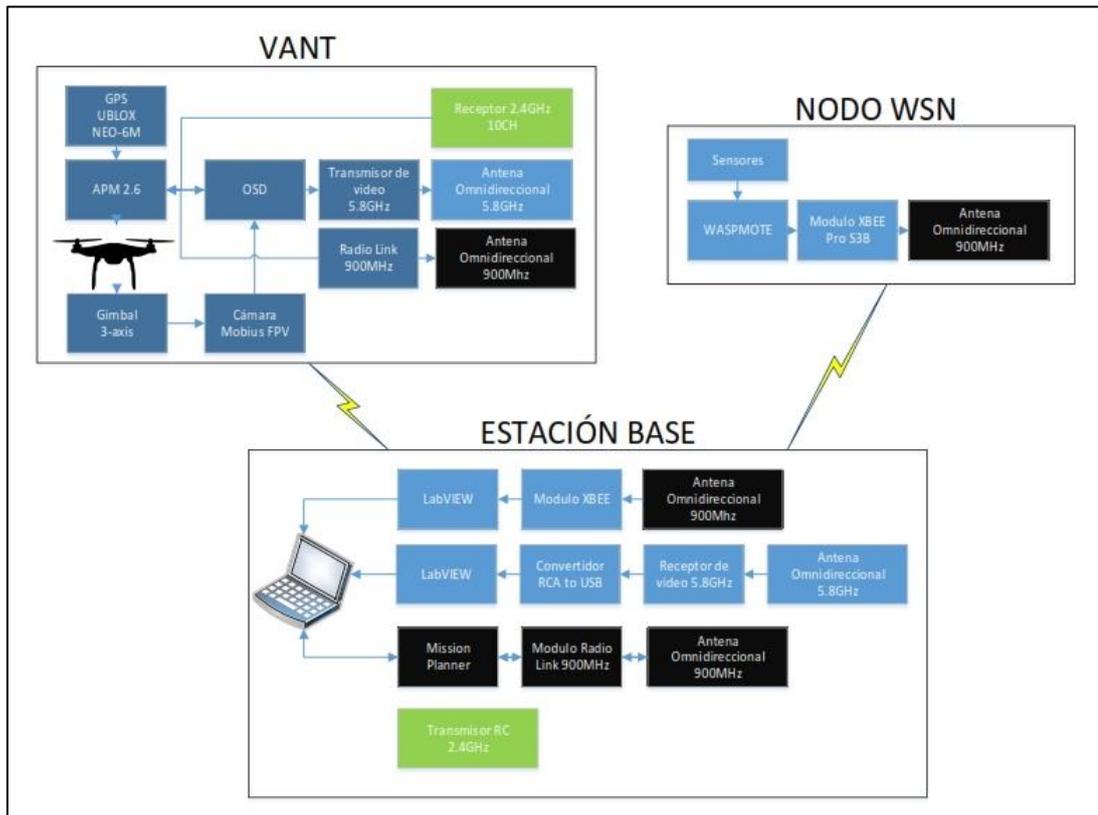


Figura 3.2. Diagrama de bloques de la arquitectura a implementar.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 3.2 se muestra la arquitectura general del sistema de videovigilancia, el cual está compuesto por 3 nodos de sensores ubicados en el sector de San Cayetano Alto, junto con su *gateway* en las instalaciones de la Universidad Técnica Particular de Loja, para las pruebas de funcionamiento los nodos se encuentran dentro de un rango de 300 m a la redonda de donde se ubica la estación base.

Cada nodo o mota consta de 4 sensores: sensor de presencia, sensor de temperatura, sensor de vibraciones, sensor flexo-resistivo, estos sensores trabajan en conjunto enviando los datos al *gateway* o coordinador que se encuentra en la estación base. Desde la estación base se tiene completo acceso a los datos de cada uno de los nodos y los sensores.

Cada uno de los nodos están georeferenciados, de esta manera al existir una alerta o anomalía en uno de los nodo, se conoce la ubicación exacta del mismo dentro del mapa que es visible desde el panel del operador.

Además, en la estación base donde se encuentran todos los sistemas de recepción de la WSN y los sistemas de control del VANT, son visualizadas todas las variables de los sensores que están en cada uno de los nodos, las imágenes de video en tiempo real y desde donde se envían los comandos al VANT para realizar las misiones requeridas.

El sistema además está compuesto por el VANT de tipo quad-rotor que es el que permite realizar las misiones de vuelo autónomas hacia el punto donde la alerta se ha iniciado para realizar el proceso de videovigilancia, transmitiendo imágenes de video en tiempo real al monitor de la estación base conjuntamente con los datos de telemetría del sistema.

En la Figura 3.3 se encuentra ilustrada la arquitectura implementada en el VANT, la cual permite el control del VANT así como tener acceso a los datos y a la planificación del vuelo basado en las coordenadas obtenidas del GPS y las posiciones georeferenciadas de destino dadas por el operador, además de la obtención, tratamiento y transmisión del video.

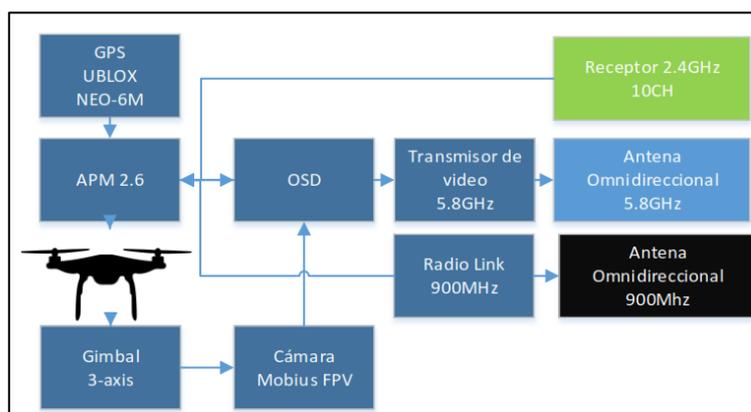


Figura 3.3. Arquitectura de Hardware VANT.
Fuente: Imagen propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.

Para el desarrollo del VANT se toman en consideración las características detalladas en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Especificaciones del VANT.

Característica	Unidad
Peso (batería y hélices incluidas)	1350 g
Máxima carga útil aceptada	500 g
Tamaño diagonal	450 mm
Máxima velocidad de ascenso	5 m/s
Máxima velocidad de descenso	3 m/s
Velocidad horizontal máxima	20 m/s
Máximo ángulo de inclinación	35 °
Sistema de posicionamiento satelital	GPS
Rango de exactitud de posicionamiento (horizontal y vertical)	2.5 m
Rango de frecuencia de operación	2.4055 - 2.475 GHz
Rango de frecuencia de video	5600 - 5980 MHz
Frecuencia telemetría	915 MHz
Máxima distancia de transmisión	300 m
Máxima distancia del sistema de telemetría	300 m

Elaboración: Propia del autor.

A la arquitectura de la estación base se la ha dividido en dos partes para una mejor comprensión, en la Figura 3.4 se encuentra detallada toda la arquitectura de hardware que es usada en la plataforma LabVIEW para la visualización de datos, en esta parte se encuentran los componentes destinados a la adquisición de datos de los nodos de la WSN, el procesamiento de los datos, y la recepción de video en tiempo real transmitido por el VANT.

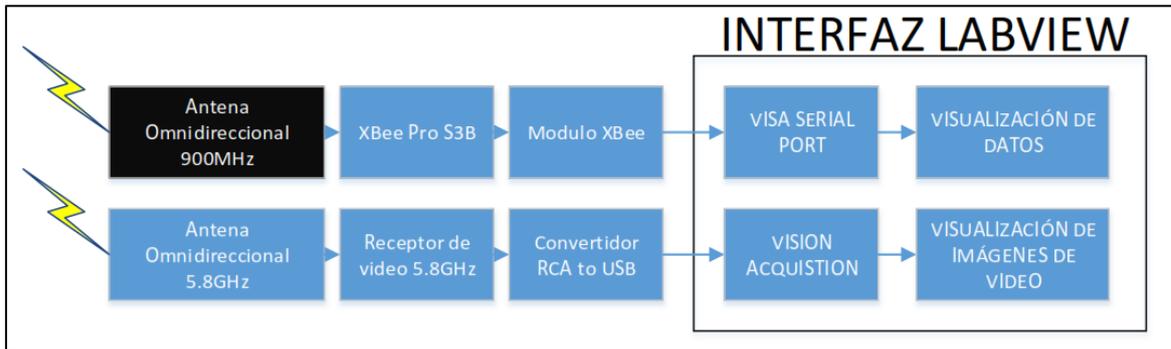


Figura 3.4. Arquitectura de hardware estación base parte LABVIEW.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 3.5 se observan los componentes de hardware destinados al control del VANT desde la interfaz de Mission Planner, en donde se visualizan todos los datos que intervienen en el vuelo del VANT así como su posición, nivel de batería y consumo de corriente, desde esta interfaz se establecen los puntos para las misiones de piloto automático, donde la trayectoria se obtiene automáticamente una vez establecida la altura y velocidad deseada para el vuelo del VANT y así este procede a su vuelo autónomo al punto designado.

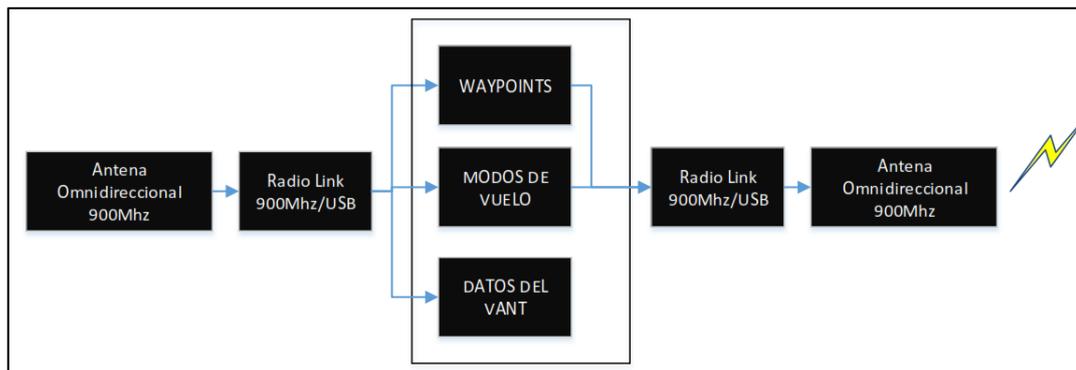


Figura 3.5. Arquitectura de la estación base parte Mission Planner.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.4. Selección de componentes de la WSN

3.4.1. Selección de tarjeta de procesamiento de los datos obtenidos de los sensores.

Se seleccionó la tarjeta Waspote Pro V1.2 luego de realizar una comparación con unas de las tarjetas más usadas en este tipo de aplicaciones nos referimos a las tarjetas de procesamiento ARDUINO y ARDUINO MEGA.

La tarjeta Waspote Pro V1.2 (Figura 3.6), es una plataforma *OpenSource* desarrollada por la empresa Libellium para la implementación de redes de sensores de alta precisión y de bajo consumo energético, por la cual fue elegida para este trabajo de titulación.

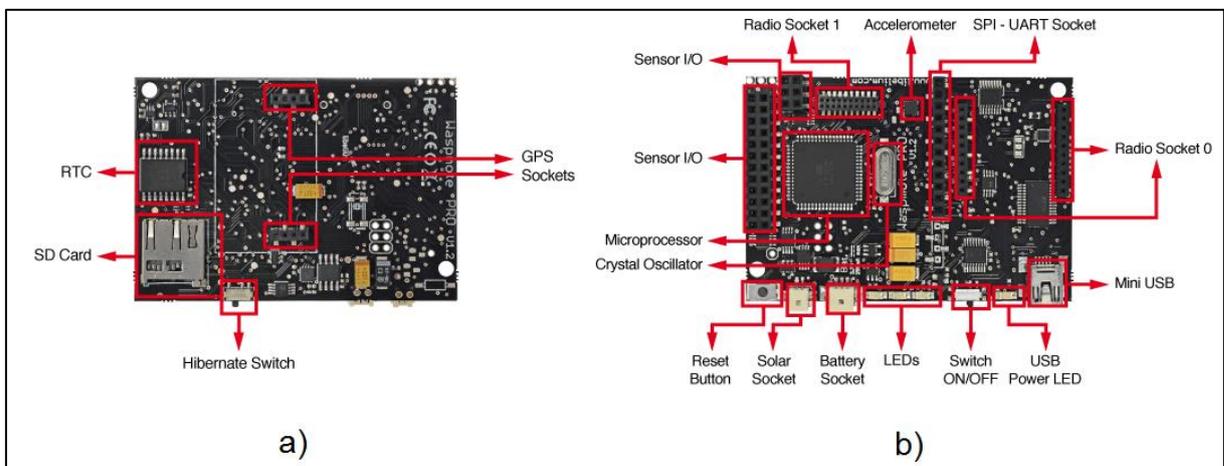


Figura 3.6. a) Vista posterior tarjeta WASPMOTE PRO v1.2 y b) Vista frontal tarjeta WASPMOTE PRO v1.2.
Fuente: Imagen tomada de [16].
Elaboración: Elaborado por [16].

En la Tabla 3.2 se muestra la tabla comparativa realizada entre las tarjetas Arduino, Arduino Mega y Waspote, en donde se detallan las características más importantes de dichas tarjetas.

Tabla 3.2. Comparativa entre tarjeta Arduino, Arduino Mega y Waspote.

Características	Arduino	Arduino Mega	Waspote
Microcontrolador	ATMega328	ATMega2560	ATMega1281
Frecuencia	16 MHz	16 MHz	14 MHz
RAM	2 KB	8 KB	8 KB
EEPROM	1 KB	4 KB	4 KB
FLASH	32 KB	256 KB	128 KB
Almacenamiento externo	-	-	2 GB
Consumo (encendido)	50 mA	50 mA	15 mA
Modo durmiente	No	No	Sí
Consumo en modo durmiente	-	-	55 μ A
Consumo modo hibernación	No	No	0.7 μ A

Elaboración: Propia del autor.

Características Físicas:

- Peso: 20 g.
- Dimensiones: 73.5 x 51 x 13 mm
- Temperatura de trabajo: -10 °C, +65°C
- Frecuencia de Reloj: RTC 32 kHz
- Costo: \$ 276.00

Características Eléctricas:

- Voltaje de Batería: 3.3 - 4.2 V
- Carga vía USB: 5V – 100 mA
- Carga panel solar: 6-12 V – 280 mA

3.4.2. Selección de sensores.

La selección de los sensores se realizó basándonos en la información recolectada en la sección 2.4 de este documento, donde se describen algunos de los sensores más importantes dentro de los procesos de vigilancia y monitoreo.

3.4.2.1. Sensor acelerómetro.

Se eligió el sensor acelerómetro LIS331LDH (Figura 3.7) que viene integrado en la tarjeta de programación WASPMOTE, sensor desarrollado por STMicroelectronics, que informa las variaciones experimentadas en cada uno de los 3 ejes(X,Y,Z).

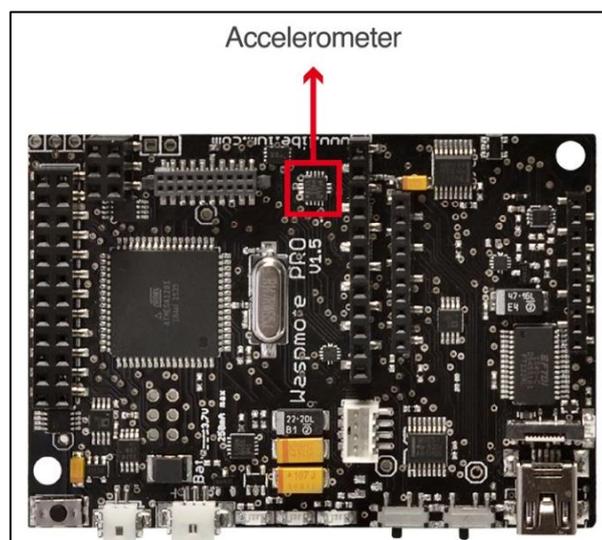


Figura 3.7. Acelerómetro LIS331DLH de la tarjeta Waspote.
Fuente: Imagen tomado de [16].
Elaboración: Elaborado por [16].

El LIS331DLH tiene un rango de escalas definido por el usuario que son capaces de medir la aceleración con rangos de salida de datos desde 0.5 Hz a 1 kHz.

El acelerómetro se comunica con el microcontrolador a través de una interfaz I2C. Los pines usados para esta tarea son los SCL y el pin SDA de la tarjeta Waspote.

3.4.2.2. Sensor flexo-resistivo.

Se escogió el sensor flexo-resistivo de 2.2" de longitud de marca *Spectra Symbol* (Figura 3.8) con un rango de resistencia de 10 k Ω a 20 k Ω , a medida que el sensor es flexionado este aumenta su resistencia.

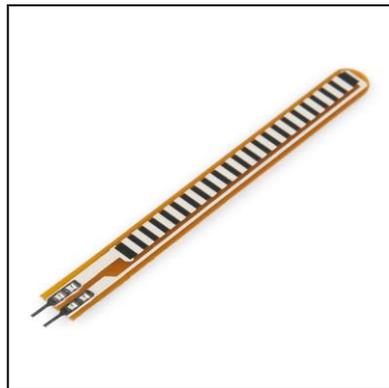


Figura 3.8. Sensor flexo-resistivo 2.2".
Fuente: Imagen tomada de [20].
Elaboración: Elaborado por [20].

Características:

- Resistencia sin flexión: 10 k Ω .
- Tolerancia: +- 30 %.
- Rango de resistencia en flexión: 10 k a 20 K Ω .
- Rango de Temperatura: -35 °C a +80 °C.
- Costo: \$ 12.00

En la Figura 3.9 se muestra el funcionamiento del sensor flexo-resistivo, cuando este se encuentra sin flexión tiene una resistencia nominal de 10 k Ω , y a partir de los 45° de flexión la resistencia comienza a aumentar llegando a su límite máximo de 20 k Ω a los 180° de flexión.



Figura 3.9. Estados del sensor flexo-resistivo.
Fuente: Imagen Tomada de [21].
Elaboración: Elaborado por [21].

3.4.2.3. Sensor de presencia (PIR).

Se ha seleccionado el sensor PIR HC-SR501 (Figura 3.10). Este es un sensor basado en infrarrojos utiliza el chip LM324D, diseñado para ser usado en tecnologías de bajo consumo energético.



Figura 3.10. Sensor PIR.
Fuente: Imagen tomada de [22].
Elaboración: Elaborado por [22].

Características:

- Voltaje alimentación: 5 V – 20 V
- Consumo de corriente: 65 mA
- Salida de voltaje TTL: 3.3 V, 0 V
- Lock time: 0.2 s
- Rango de trabajo: menor a 120 grados, y 7 m.
- Temperatura de trabajo: – 15 ~ +70
- Dimensiones: 32x24 mm.
- Dimensión del lente: 23 mm (diámetro).
- Costo: \$ 5.00

3.4.2.4. Sensor de Temperatura.

Se ha seleccionado el sensor TMP36GZ que es un sensor analógico que convierte un valor de temperatura en un voltaje analógico proporcional. Con rangos de voltaje entre 100 mV (-40 °C) y 1.75 V (125 °C), con una variación de 10 mV/C°, con 500 mV de salida para 0 °C.

3.5. Selección de componentes del VANT.

Para la selección de los componentes del VANT se tomaron en consideración las especificaciones del sistema descritas en la Tabla 3.1 de la sección 3.3 de este documento.

3.5.1. Estructura del VANT.

La estructura del VANT escogida es de tipo quad-rotor de 450 mm (Figura 3.11), se ha escogido esta estructura gracias a la robustez de la misma ya que su construcción está realizada en fibra de vidrio y los brazos están compuestos de nylon de alta calidad, permitiendo así soportar la carga requerida del sistema, contiene una placa de distribución en su construcción lo que permite minimizar la cantidad de cables y en si interferencias que pueden causar perturbaciones en la tarjeta controladora y en el GPS [23].



Figura 3.11. Estructura del VANT F450 mm.

Fuente: Imagen tomada de [23].

Elaboración: Elaborado por [23].

Características:

- Ancho: 450 mm.
- Alto: 55 mm.
- Peso: 270 g.
- Costo: \$ 35.00.

3.5.2. Motores brushless.

Se han elegido los motores brushless Emax MT2216 – 810 KV (Figura 3.12), debido al bajo costo y al empuje proporcionado por este motor llegando a proporcionar 950 g a máxima potencia, lo que permite que en conjunto generen un empuje máximo de 3.8 kg, un motor brushless es un tipo de motor que no utiliza escobillas. Lleva siempre asociado un regulador de tensión o un variador. La constante KV, define la cantidad de revoluciones por minuto (rpm) que da el motor por cada voltio de corriente continua aplicado al ESC (a máxima potencia) [24]. Es decir que si a este motor de 810 KV se le aplica 14,8 V funcionará a 11988 RPM como máximo (con el ESC se puede variar este valor). Esta es su velocidad nominal y nunca subirá a más velocidad a no ser que se aumente la diferencia de potencial (voltaje).



Figura 3.12. Motor brushless Emax MT2216.
Fuente: Imagen tomada de [25].
Elaboración: Elaborado por [25].

Características:

- Construcción: 12N14P
- KV: 810 KV
- Alto: 42.7 mm
- Diámetro: 27.9 mm
- Empuje máximo: 950 g.
- Peso del motor: 63 g.
- Precio: \$ 25.50 c/u.

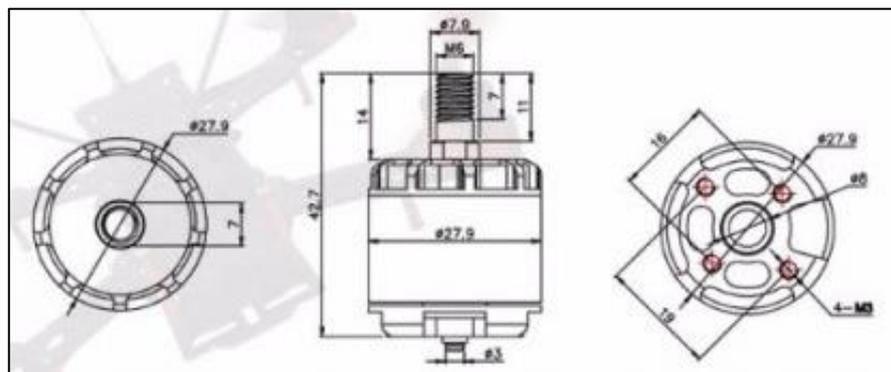


Figura 3.13. Características físicas del motor Emax MT2216.
Fuente: Imagen tomada de [25].
Elaboración: Elaborado por [25].

3.5.3. Controladores electrónicos de velocidad (ESC).

Se han seleccionado los ESC Hobbywing 30 A (Figura 3.14). Un ESC es un dispositivo electrónico que sirve para controlar la velocidad del motor brushless.



Figura 3.14. Controlador electrónico de velocidad.
Fuente: Imagen tomada de [26].
Elaboración: Elaborado por [26].

El variador o ESC recibirá la señal PWM de 50 Hz y dependiendo del ancho de pulso emitido este suministrará el nivel de potencia requerido al motor. La longitud del pulso PWM varía de 1 ms a 2 ms a mínima y a máxima potencia respectivamente su representación se puede observar en la Figura 3.15 [27].

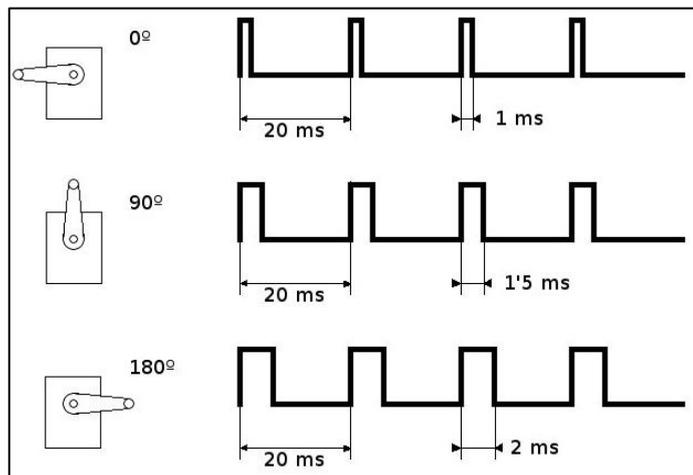


Figura 3.15. Anchos de pulso y su equivalencia en ángulo de un servo-motor.
Fuente: Imagen tomada de [28].
Elaboración: Elaborado por [28].

Características:

- Corriente Constante: 30 A.
- Voltaje de alimentación: 6 V-24 V
- Corriente Máxima: 40 A.

- Tamaño: 56 mm x 24 mm x 8.5 mm.
- Peso: 26 g.
- Precio: \$ 15.50 c/u.

3.5.4. Tarjeta controladora de vuelo.

Se ha escogido la tarjeta controladora ArduPilot Mega 2.6 (Figura 3.16), ya que es un sistema de piloto automático completo de código abierto basado en un Arduino mega 2560 lo que permite optimizar el sistema dependiendo de los requerimientos finales, permite al usuario convertir uno de alas fijas o un multirrotor (incluso coches y barcos) en un vehículo completamente autónomo; capaz de realizar misiones en base al GPS programados con *waypoints* (puntos de guía) [29].

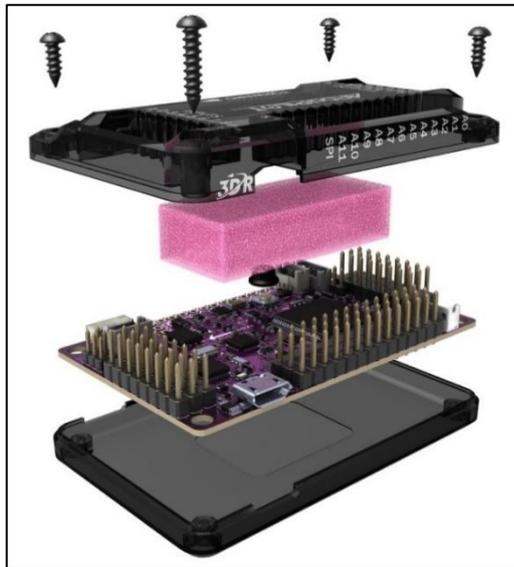


Figura 3.16. Tarjeta controladora APM 2.6.
Fuente: Imagen tomada de [30].
Elaboración: Elaborado por [30].

Características:

- Sensores: Incluye giroscopio de 3 ejes, Acelerómetro: MPU-6000 6 GDL/Gyro de Invensense, magnetómetro, junto con un sensor de presión barométrica MS5611-01BA03 de Measurement Specialties.
- Dataflash: 4 Megabyte de registro automático de datos.
- Procesador: Chip Atmega2560 de ATMEL y ATMEGA32U-2 para la interfaz USB del sistema.
- Precio: \$ 68.00.

3.5.5. Módulo GPS.

Se ha seleccionado el GPS U-blox 6M (Figura 3.17), que es usado como complemento para el sistema de control del VANT, este módulo ofrece una rango de exactitud de 2.5 m en eje horizontal y vertical por lo que cumple con las especificaciones del VANT propuestas para este sistema, está diseñado para un bajo consumo de energía a un costo accesible, independientemente de la constelación de satélites que se use.



Figura 3.17. Módulo GPS UBLOX 6M.
Fuente: Imagen tomada de [31].
Elaboración: Elaborado por [31].

Características:

- Sensibilidad del receptor: -162 dBm.
- Voltaje de alimentación: 2.7 V, 3.6 V.
- Consumo de energía: 121 mW.
- Precisión horizontal: 2.5 m
- Máximo rango de actualización de navegación: 5 Hz
- Fabricado bajo normas ISO / TS 16949.
- Calificado según la norma ISO 1675.
- Costo: \$ 53.60

3.5.6. Módulos de telemetría

Se han escogido los módulos HKPilot Transceiver Telemetry Radio V.2 (Figura 3.19) que trabajan en la frecuencia de 915 MHz y proveen una comunicación full-duplex entre los módulos, los módulos de telemetría permiten obtener la información del VANT como el nivel de batería, la orientación distancia del punto de inicio, altura entre otros y enviarlas en tiempo real al módulo de recepción conectado a la estación base para ser observadas en la interfaz y lo más importante poder manipular la ruta de vuelo y los puntos de guía para que el VANT realice las misiones en piloto automático.



Figura 3.18. Módulos de telemetría HKPilot 915 MHz.
Fuente: Imagen tomada de [32].
Elaboración: Elaborado por [32].

Características:

- Voltaje: 3.7-6 VDC.
- Potencia de transmisión: 100 mW - 20 dBm
- Sensibilidad del receptor: -117 dBm.
- Corriente de consumo (Receptor): 25 mA
- Interfaz serial: 3.3 V UART
- Tamaño: 25.5x 53x11 mm
- Peso: 11.5 g.
- Precio: \$ 50.00.

3.5.7. Cámara FPV 700 TVL.

Se ha elegido la cámara FPV HS1177 (Figura 3.19), debido a su bajo costo y a las características que ofrece este modelo, ofreciendo una apertura focal de 170° lo que ayuda a realizar un proceso de vigilancia con un amplio espectro de visión, además de poseer un rango dinámico lo que permite mantener una imagen clara en ambientes con poca o demasiada luz de fondo.



Figura 3.19. Cámara FPV HS1177.
Fuente: Imagen tomada de [33].
Elaboración: Elaborado por [33].

Características:

- Voltaje: 5 V – 22 V.
- Resolución: 768 x 494 pixeles.
- Formato de imagen: NTSC/PAL.
- Salida de video: 75 Ω .
- Temperatura de trabajo: -10 °C – 50°C
- Consumo de corriente: 70 mA.
- FOV: 170°.

3.5.8. Módulo OSD.

Se ha elegido el módulo minimOSD "On-Screen Display" que es una pequeña placa de circuito basado en un ATMEGA-328P y un chip MAX7465 que extrae los datos de telemetría de la tarjeta controladora APM o cualquier controlador de vuelo y las sobrepone en el monitor de vista en primera persona, ayudando a tener controlados todas las variables importantes del VANT [34].

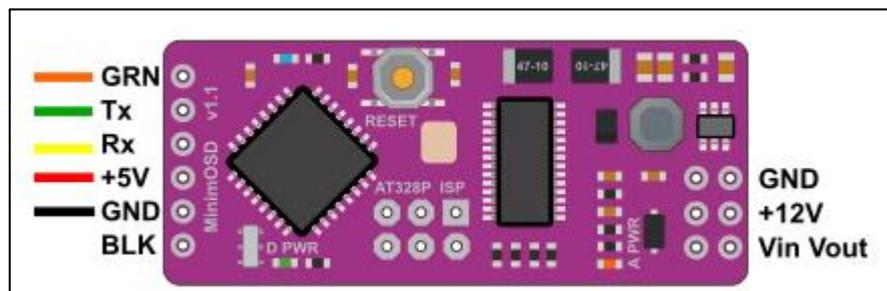


Figura 3.20. Módulo MinimOSD.
Fuente: Imagen tomada de [34].
Elaboración: Elaborado por [34].

Detalles Técnicos:

- Procesador: ATMEGA-328P.
- CHIP OSD: MAX7465.
- Voltaje de operación: 6-40 V
- Formato de video: NTSC & PAL
- Costo: \$ 35.00

En la Figura 3.21 se muestra el diagrama de conexión del OSD con la cámara FPV y la tarjeta APM para mostrar la transmisión de datos de telemetría en la imagen de video que es visualizada en el monitor del operador.

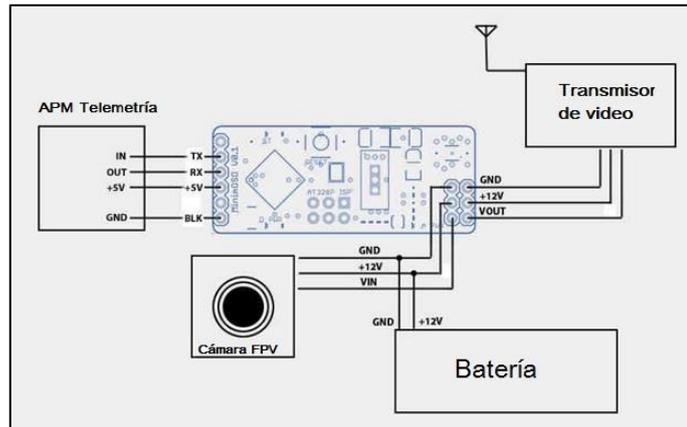


Figura 3.21. Diagrama de conexión del OSD.
 Fuente: Imagen tomada de [34].
 Elaboración: Elaborado por [34].

3.6. Ensamblaje de componentes y configuración del VANT.

3.6.1. Conexión de motores y configuración del sentido de rotación.

Como se indicó en el modelo matemático de la sección 2.2.3.1. cada uno de los motores del quad-rotor tiene un sentido de rotación diferente al motor anterior, para conseguir este cambio es necesario realizar una modificación en el orden de los terminales del motor brushless que van conectados al ESC como se muestra en la Figura 3.22, de esta manera modificaremos el cambio de polarización de las bobinas del motor generando una rotación inversa o de sentido de rotación horaria, al cambiar la disposición de los sensores de efecto Hall que monitorean la posición relativa del motor indicando así que bobina debe energizar para generar el movimiento, al conectar los terminales directamente sin modificación el sentido de rotación del motor es CCW o de sentido de rotación anti-horario.

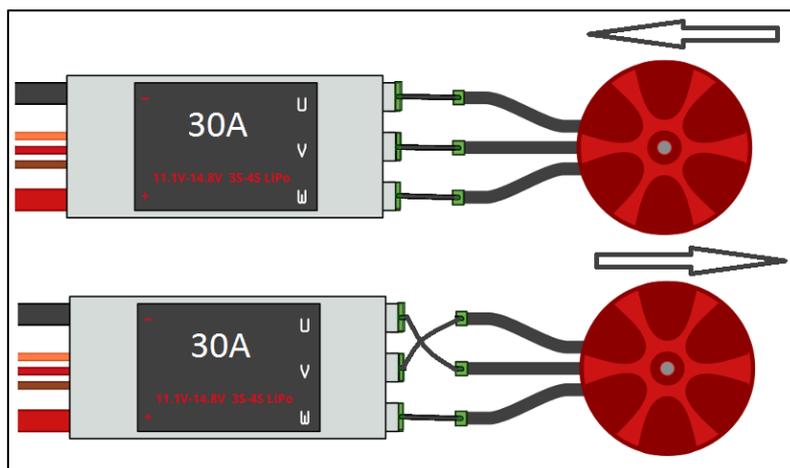


Figura 3.22. Configuración del sentido de rotación de un motor brushless.
 Fuente: Propia del autor.
 Elaboración: Propia del autor.

Cada uno de los motores deberá ir ubicado de acuerdo a su sentido de rotación sobre cada uno de los brazos de la estructura como se indica en la Figura 3.23.

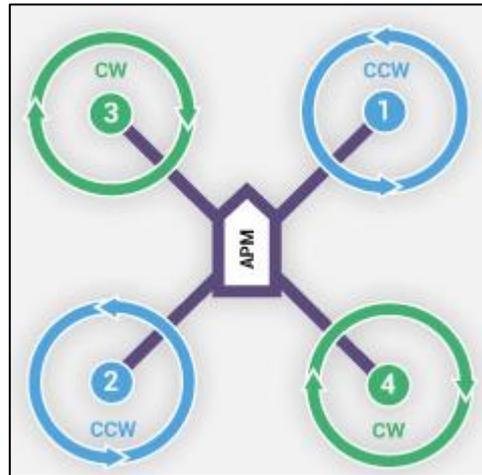


Figura 3.23. Configuración de giro y posición de los motores.
Fuente: Imagen tomada de [35].
Elaboración: Elaborado por [35].

3.6.2. Conexión de los controladores electrónicos de velocidad.

Los terminales de alimentación de los ESC van conectados en paralelo directamente a la placa de distribución de corriente o PDB como se observa en la Figura 3.24, al igual que los cables de conexión de la batería tomando en consideración la polaridad de cada uno de ellos, de esta manera la batería suministrará el voltaje a cada uno de los ESC de manera simultánea.

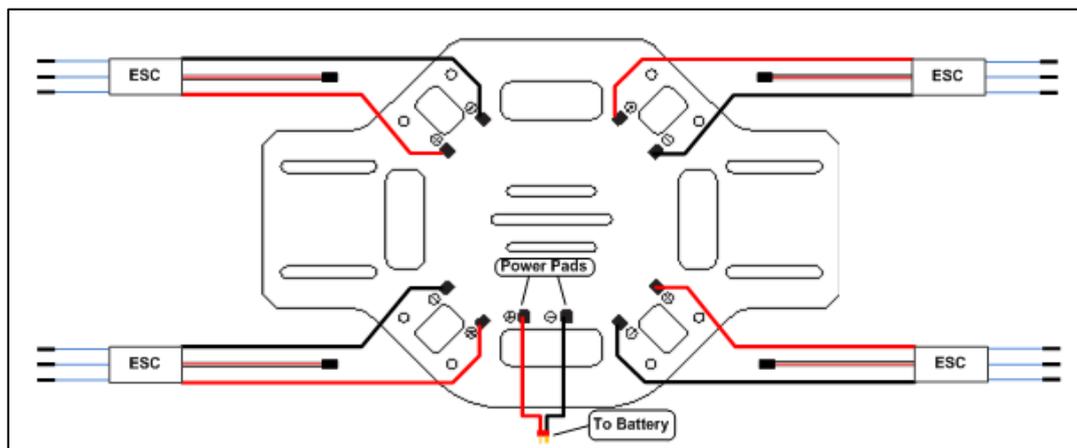


Figura 3.24. Conexión de los ESC en la PDB.
Fuente: Imagen tomada de [36].
Elaboración: Elaborado por [36].

Los cables de señal de cada ESC van conectados a las salidas de señal PWM de la tarjeta APM cada salida corresponde a un motor en particular como se observa en la Figura 3.25, de esta manera el sistema puede trabajar correctamente haciendo uso de los valores resultantes del

controlador PID que envía como valor resultante un valor PWM lo cual genera mayor o menor suministro de corriente al motor hasta estabilizar el sistema.

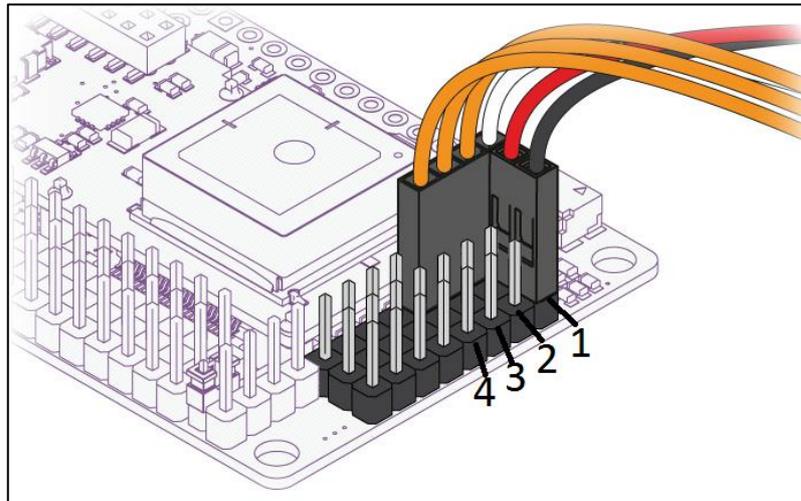


Figura 3.25. Salidas de señal PWM para control de los ESC.
 Fuente: Imagen tomada de [37].
 Elaboración: Elaborado por [37].

3.6.3. Conexión de entradas digitales del control RC.

Cada una de las entradas de señal digital de la tarjeta de control APM están designadas para la lectura de cada uno de los canales del control RC como se muestra en la Figura 3.26, en este caso al usar un receptor de tipo serial de marca FLYSKY FS-i10 a cada uno de los canales le corresponde una entrada de señal que vincula a cada uno de los movimientos posibles y acciones auxiliares que pueden ser realizados con los niveles de señal PWM transmitidos por el control que la modulación GFSK para la transmisión de los datos.

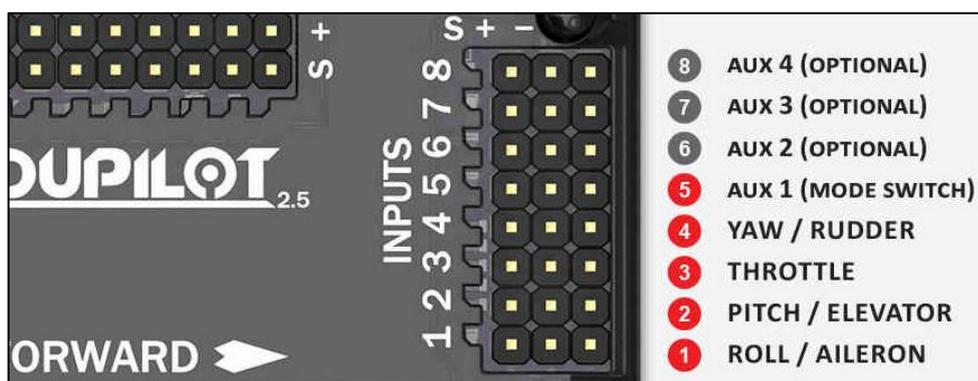


Figura 3.26. Entradas analógicas de la tarjeta APM.
 Fuente: Imagen tomada de [37].
 Elaboración: Elaborado por [37].

3.6.4. Configuración inicial de la tarjeta APM 2.6.

Se procede a conectar la tarjeta APM a la PC a través de la interfaz USB usando el programa Mission Planner, una vez establecida la comunicación se puede observar en el programa

todas las variables que intervienen en el vuelo del VANT y la ubicación del VANT en el mapa, desde aquí se procede a configurar, calibrar y programar todos los sensores, las funciones básicas y avanzadas que faciliten el vuelo autónomo y el control del VANT.

3.6.5. Calibración del acelerómetro

Para realizar este proceso en el programa Mission Planner se debe ingresar en la ventana *Initial Setup*, luego haciendo clic en el apartado “Mandatory Hardware” luego en *Accel Calibration*, y se procede a entrar en el apartado de *Calibrate Accel*, inmediatamente la interfaz de *Mission Planner* indica la posición en que se debe colocar el VANT, una vez realizado cada acción se presiona cualquier botón y se procede a seguir las indicaciones de la interfaz hasta que el proceso de calibración haya terminado.

El proceso de calibración del acelerómetro permitirá establecer los ángulos de control o “Set Point” de cada uno de los ejes, X,Y,Z, que intervendrán en el proceso de estabilización del VANT en vuelo usando dichos *set point* para el cálculo del PID y de esta manera incrementar o disminuir la potencia de cada uno de los motores que intervienen en la estabilización de cada uno de los ejes del VANT hasta que el ángulo del vehículo llegue al punto de equilibrio deseado.

3.6.6. Calibración de la brújula (Compass)

En el apartado de *Mandatory Hardware* se encuentra la opción de *Compass Calibration* al hacer clic en esta opción se desplegará el menú donde se pueden observar los valores de offset predefinidos del sistema, haciendo clic en *live calibration* y el sistema pedirá que se mueva al VANT en todas las direcciones para extraer muestras y generar los puntos de información en cada uno de los ejes como se observa en la Figura 3.27, dichos puntos serán usados por el sistema para establecer los nuevos *offset's* que permiten definir los *set points* para el proceso de estabilización del sistema.



Figura 3.27. Ventana de calibración de la Brújula.

Fuente: Imagen tomada de [38].

Elaboración: Elaborado por [38].

3.6.7. Obtención y transmisión de video

Se usa la cámara de FPV de 600TVL para obtener la señal de video analógica de formato PAL, que luego es acondicionada por el transmisor usando la modulación WFM para ser transmitida en la banda SHF en la frecuencia de 5.8GHz.

La modulación WFM es usada para grandes valores de índice de modulación FM, la onda idealmente contiene la portadora y un número infinito de bandas laterales situadas simétricamente alrededor de la portadora. Esta onda tiene ancho de banda infinito y, por tanto, se denomina FM de banda ancha.

El formato del video obtenido de la cámara puede ser establecido entre NTSC/PAL, la portadora de video transmitida tiene un ancho de banda de 8 MHz, y la portadora de audio 6.5 MHz, la potencia media de salida es de 27.5 dBm equivalente a 600 mW, la modulación se realiza en 5.8 GHz y es transmitida en un canal de 14.5 MHz de ancho de banda.

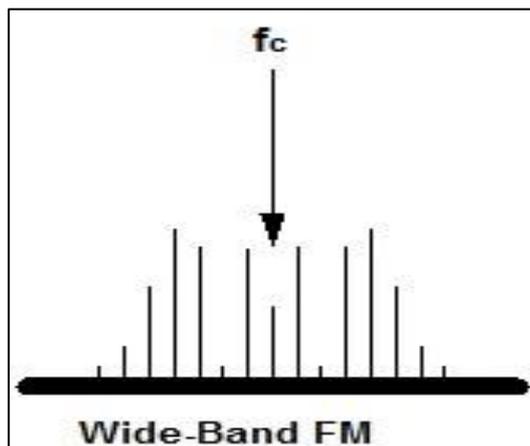


Figura 3.28. Señal modulada en WFM.
Elaboración: Propia del autor.

Dentro del transmisor se debe configurar el canal y la frecuencia deseada para realizar la transmisión, en este caso usamos el canal F y la frecuencia 8, equivalente a 5860 MHz y usando 600 mW de potencia de transmisión, con una antena omnidireccional de 5 dBi de ganancia.

3.7. Programación de la plataforma Waspote.

En la Figura 3.29 se detalla el diagrama de flujo que se usa en el diseño y programación de los nodos de sensores.

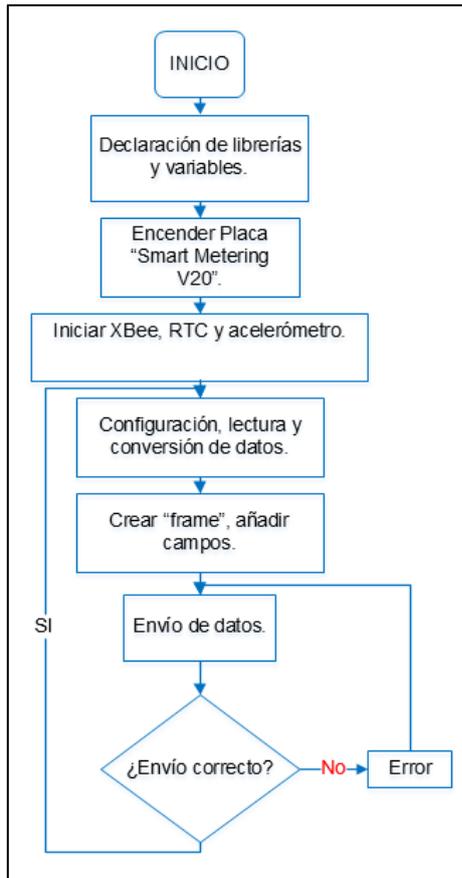


Figura 3.29. Diagrama de flujo, nodos WSN.
Fuente: Imagen propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 3.30 se muestra la tarjeta *smart metering sensor board 2.0*, la misma que es usada en el proceso de programación de los nodos, es un placa para Wasp mote diseñado como complemento para controlar y monitorear ambientes domésticos, tiene la facilidad de acoplar 8 tipo de sensores analógicos y digitales predefinidos en sockets diseñados específicamente para estos, suministrándoles voltajes y corrientes independientes.

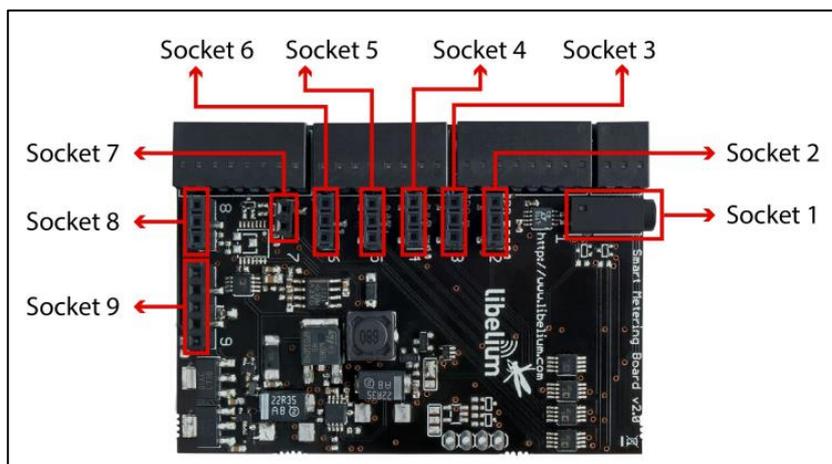


Figura 3.30. Sockets para sensores de la smart metering sensor board 2.0.
Fuente: Imagen tomada de [39].
Elaboración: Elaborado por [39].

Cada uno de los sockets provee un voltaje determinado de 3.3 V o 5 V como se observa en la Tabla 3.3, proporcionando una salida de corriente constante de 200 mA y una corriente pico de 400 mA, dependiendo del voltaje de alimentación de cada uno de los sensores serán ubicados en cada uno de los sockets.

Tabla 3.3. Voltaje suministrado por cada socket.

N° de Socket	Voltaje	Tipo de entrada
4	5 V	Analógico
5	3.3 V	Digital
6	3.3 V	Analógico
7	3.3 V	Analógico

Elaboración: Propia del autor.

3.7.1. Parametrización del Sensor flexo-resistivo.

El sensor flexo-resistivo es un sensor analógico que proporciona una variación de voltaje en su salida debido a una variación de la resistencia interna dependiendo del grado de flexión del sensor, tiene una resistencia nominal de 10 kΩ, y conforme se le vaya ejerciendo una flexión ira aumentando su resistencia característica llegando a 20 kΩ cuando este flexionado a 180° en la Figura 3.31 se puede observar su curva característica misma que ayudara para la linealización del sensor.

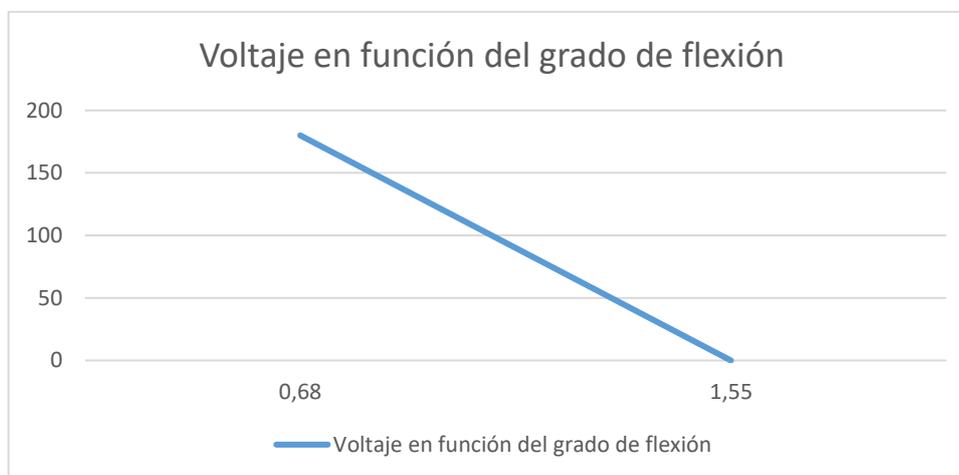


Figura 3.31. Voltaje en función del grado de flexión.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Puntos para cálculo de gradiente.

- (0.68, 180)
- (1.55, 0)

Se procede a calcular la gradiente m haciendo uso de la ecuación

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

(3.1)

Se reemplazan las variables con los valores de la pendiente.

$$m = \frac{180 - 0}{0.68 - 1.55} \quad (3.2)$$

$$m = -206.89 \quad (3.3)$$

Se calcula la constante b de la ecuación:

$$y = m * (x) + b \quad (3.4)$$

$$b = y - m * (x) \quad (3.5)$$

$$b = 0 + 206.89 * (1.55) \quad (3.6)$$

$$b = 320.6795 \quad (3.7)$$

Reemplazando las variables en la ecuación y así se obtiene la ecuación para calcular el grado de flexión del sensor en función del voltaje de salida:

$$y(^{\circ}) = (-206.89 * x(mV)) + 320.6795 \quad (3.8)$$

En la Figura 3.32 se observa el código de programación del sensor flexo-resistivo:

```
#include <WaspSensorSmart_v20.h>
// Se declara cada variable para almacenar los datos del sensor
float grados;
float value_fr;
void setup()
{
  USB.ON();
  USB.println(F("start"));
  delay(100);
  // Encender la tarjeta Sensor Smart Board
  SensorSmartv20.ON();
  RTC.ON()
}
void loop()
{
  // Encender el sensor y esperar su estabilización
  SensorSmartv20.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SMART_LDR);
  delay(10);

  value_fr = SensorSmartv20.readValue(SENS_SMART_LDR);
  grados = ((-206.89 * value_fr) + 320.6795);
  // Apagar el sensor
  SensorSmartv20.setSensorMode(SENS_OFF, SENS_SMART_LDR);
  USB.print(F("grados: "));
  USB.print(grados);
  USB.println(F(" grados"));
  delay(1000);
}
```

Figura 3.32. Código del sensor flexo-resistivo.

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.7.2. Sensor de presencia PIR HC-SR501.

El sensor PIR HC-SR501 trabaja con un voltaje de alimentación de 5 V, al ser un sensor digital, al momento de existir una variación dentro del campo de medición infrarroja se genera una señal eléctrica diferencial que es captada por el sensor y este emitirá una señal digital en alto mientras que cuando no exista variación dentro del campo la señal digital estará en bajo.

3.7.3. Sensor de temperatura.

El TMP36GZ es un sensor analógico que convierte un valor de temperatura en un voltaje analógico proporcional. Con rangos de voltaje entre 100 mV (-40 °C) y 1.75 V (125 °C), con una variación de 10 mV/C°, con 500 mV de salida para 0 °C como se observa en la curva característica de la Figura 3.33. La salida de tensión puede ser captada directamente por el convertidor analógico-digital del microcontrolador y convertida a su valor equivalente de temperatura gracias a las librerías predefinidas en la programación de Wasp mote establecidas en WaspSensorSmart_v20.h.

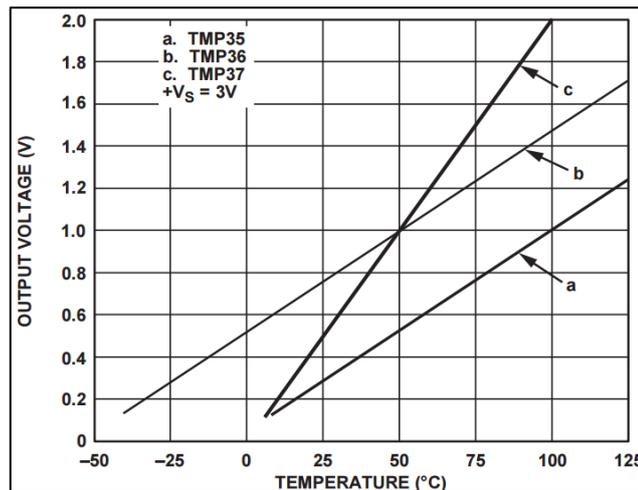


Figura 3.33. Voltaje de salida en función de la temperatura.

Fuente: Imagen tomada de [40].

Elaboración: Elaborado por [40].

En la Figura 3.34 se muestra el código de programación para el sensor de temperatura:

```

#include <WaspSensorSmart_v20.h>
// Se declara cada variable para almacenar los datos del sensor
float value;
void setup()
{
  USB.ON();
  USB.println(F("start"));
  delay(100);
  // Encender la placa de sensores
  SensorSmartv20.ON();
  // Encender el RTC
  RTC.ON();
}
void loop()
{
  // Encender el sensor y esperar su estabilización
  SensorSmartv20.setSensorMode(SENS_ON, SENS_SMART_TEMPERATURE);
  delay(10);
  // Lectura del valor de temperatura del sensor
  value = SensorSmartv20.readValue(SENS_SMART_TEMPERATURE);
  // Apagar el sensor
  SensorSmartv20.setSensorMode(SENS_OFF, SENS_SMART_TEMPERATURE);
  // Presentar el valor via serial
  USB.print(F("Temperatura: "));
  USB.print(value);
  USB.println(F("°C"));
  delay(1000);
}

```

Figura 3.34. Código sensor de temperatura.

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.7.4. Acelerómetro LIS3331LDH.

En la arquitectura de la tarjeta de programación Waspote se encuentra integrado un sensor LIS3331LDH, este sensor se comunica con el microcontrolador a través de una interfaz I2C, para la programación de este sensor se hace uso de las librerías WaspACC.h, WaspACC.cpp.

Se utiliza la comprobación de registro para verificar el correcto funcionamiento del sensor con el comando: byte check = ACC.check(); siempre debe retornar un valor 0x32 para permitir el uso y comunicación con dicho sensor.

Para obtener el valor numérico en grados de inclinación en cada uno de los ejes se debe llamar a la lectura de los ejes X, Y, Z mediante los siguientes comandos:

Valor de ejes X: int x_acc = ACC.getX();

Valor de ejes Y: int y_acc = ACC.getY();

Valor de ejes Z: int z_acc = ACC.getZ();

Haciendo uso de estas líneas de programación se genera el código final para el uso del sensor acelerómetro como se observa en la Figura 3.35.

```
void setup()
{
  USB.ON();
  USB.println(F("start"));
  delay(100);
  RTC.ON();
  // Se enciende el acelerómetro
  ACC.ON();
}
void loop()
{
  byte check = ACC.check();
  //-----X Value-----
  int x_acc = ACC.getX();
  //-----Y Value-----
  int y_acc = ACC.getY();
  //-----Z Value-----
  int z_acc = ACC.getZ();
  USB.print(F("\n-----\nCheck: 0x"));
  USB.println(check, HEX);
  USB.println(F("\n \t0X\t0Y\t0Z"));
  USB.print(F(" ACC\t"));
  USB.print(x_acc, DEC);
  USB.print(F("\t"));
  USB.print(y_acc, DEC);
  USB.print(F("\t"));
  USB.println(z_acc, DEC);
}
```

Figura 3.35. Código sensor acelerómetro.
Fuente: Propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.

3.7.5. Comunicación con el módulo XBee.

Se utilizó los módulos XBee Pro S3B, con el protocolo de comunicación DigiMesh, que permite expandir la red fácilmente al usar la topología tipo malla, el proceso de configuración de los módulos con dicho protocolo se detalla en los Anexos B de este documento.

Los principales parámetros que se deben configurar en los módulos son:

- Network ID: 1234.
- Tx Power level: 24 dBm.
- API enabled: API with Escapes.

3.7.5.1. Estructura de la trama.

El formato de la trama utilizado para el envío de la información desde los nodos al *gateway*, el mismo que está compuesto de dos partes (ver Figura 3.36): cabecera (*header*) y el *payload*, en donde se incluye todos los datos recogidos por los sensores. La cabecera posee información donde se almacenan los datos específicos del Wasp mote y del tipo de comunicación que se está realizando [41].

Header								PAYLOAD							
<=>	Frame Type	Num Fields	#	Serial ID	#	Waspnote ID	#	Sequence	#	Sensor_1	#	Sensor_2	#	Sensor_n	#

Figura 3.36. Estructura de una trama ASCII.

Fuente: Tomada de [41].

Elaboración: Propia del autor.

3.7.5.1.1. Información de la cabecera.

- **<=>**: Es usado para identificar el inicio de cada trama.
- **Frame Type**: Es utilizado para conocer el tipo de trama que se está enviando.
- **Num of Fields**: Se usa para saber el tamaño de la trama.
- **Serial ID**: Identifica a la tarjeta Waspnote con un número único dentro de la red.
- **Waspnote ID**: Es usado para identificar específicamente cada nodo de sensores.
- **#**: Carácter separador.
- **Sequence**: Es un contador usado para identificar el número de tramas enviadas.

3.7.5.1.2. Información del payload.

En el *payload* se encuentran todos los datos de los sensores, cada una de las variables de tipo *string*, separadas por “#”, en la Figura 3.37 se observa una de las tramas enviadas por un nodo de sensor.

```

=====
Current ASCII Frame:
Length: 80
Frame Type: 128
frame (HEX): 3C3D3E800623343033343337313334236E6F64655F3031233130235354523A6E6F646F5F312342415
frame (STR): <=>#403437134#node_01#10#STR:nodo_1#BAT:0#ACC:-69#PIR:1#TCB:33.55#BEND:25.027#
=====

```

Figura 3.37. Estructura del frame ASCII enviado.

Fuente: Imagen propia el autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.8. Programación de la interfaz en el software LabVIEW.

En la Figura 3.38 se describe detalladamente el programa para el monitoreo de las variables de los nodos, el control de alertas y la visualización del video obtenido del VANT. Esta interfaz se ha realizado utilizando el software LabVIEW, el entorno gráfico y la facilidad de programación por bloques hacen de este software una herramienta muy útil, para el desarrollo de sistemas de control y monitorización de variables en entornos civiles e industriales.

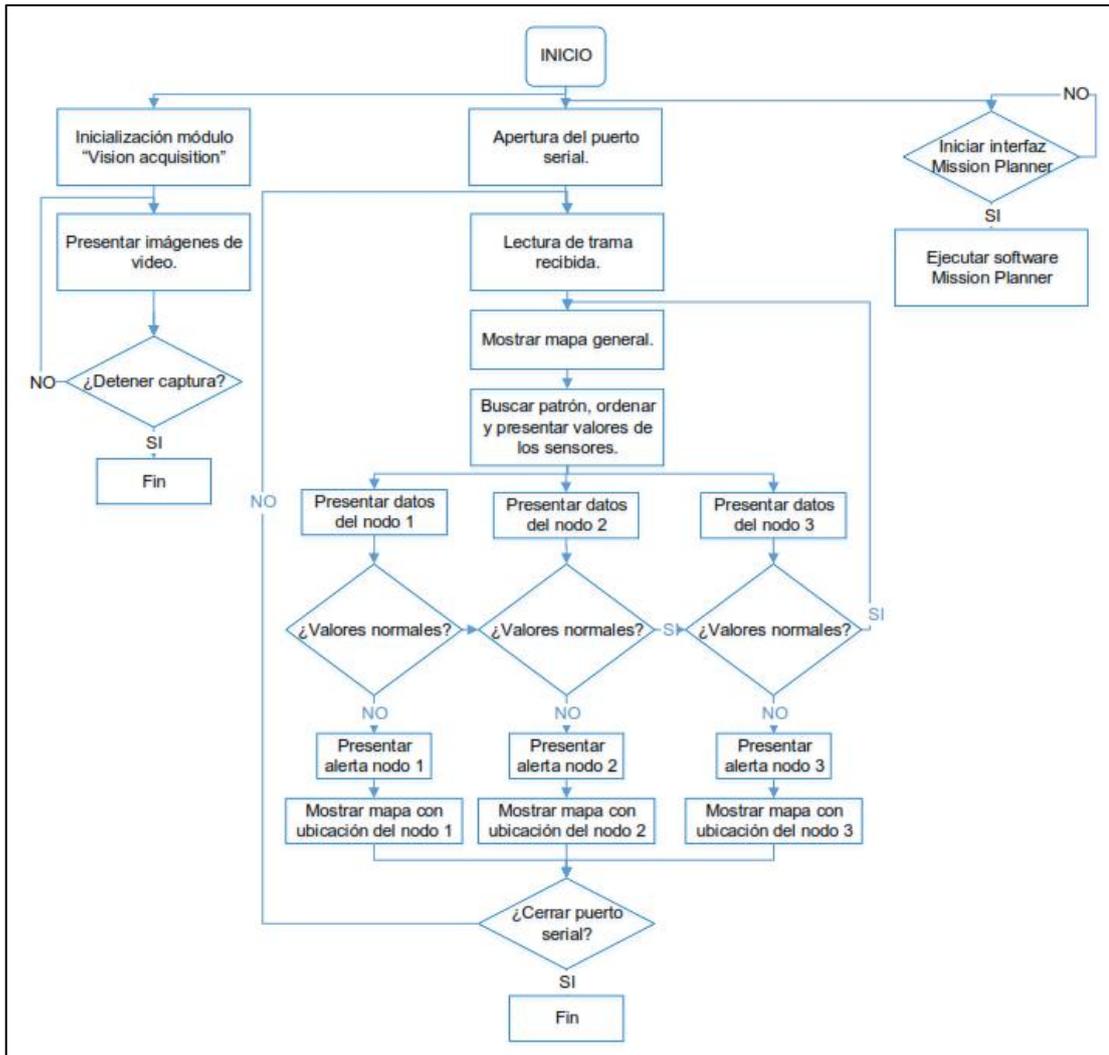


Figura 3.38. Diagrama de flujo de la interfaz desarrollada en LabVIEW.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.8.1. Elementos de la programación.

El método para la programación consiste de varias estructuras de Loop While que permiten que los sub-programas se ejecuten repetitivamente y de manera paralela, hasta que el usuario u operador decida parar uno o todos los procesos que se encuentran en ejecución. Los bloques que se utilizan en el desarrollo del presente VI junto con sus descripciones se encuentran en el anexo A de este documento.

3.8.2. Funcionamiento del programa

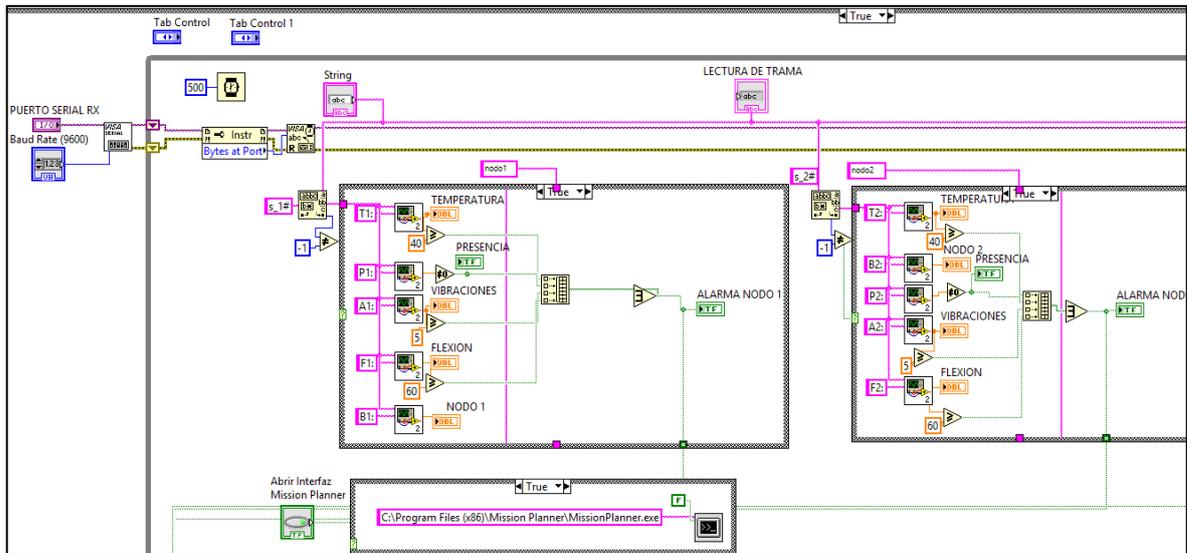


Figura 3.39. Bloques utilizados en la programación del parte del VI de LabVIEW.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Con el bloque VISA Serial se inicializa el puerto serial en el que se encuentre conectado el módulo XBee, configurando el “*Baud Rate*” específico para establecer la comunicación con el programa, al llegar la trama enviada por los nodos de la WSN al *gateway* el programa recibe la trama para separar los datos importantes del *payload* a través de la función “*Match Pattern*”, en la cual se compara la trama con cada uno de los identificadores específicos de los nodos para ir separando en cada *payload* y así extraer la información de los sensores de cada uno de ellos, para luego presentarlos en cada uno de sus indicadores de la interfaz gráfica, cuando una o varias de las variables que se encuentran en monitoreo presentan una anomalía o un valor fuera del rango establecido se origina una alerta visual, indicando al usuario cuál de los nodos origina la perturbación y de esta manera puede acceder al panel de monitoreo y observar cuál de las variables está ocasionando la alerta.

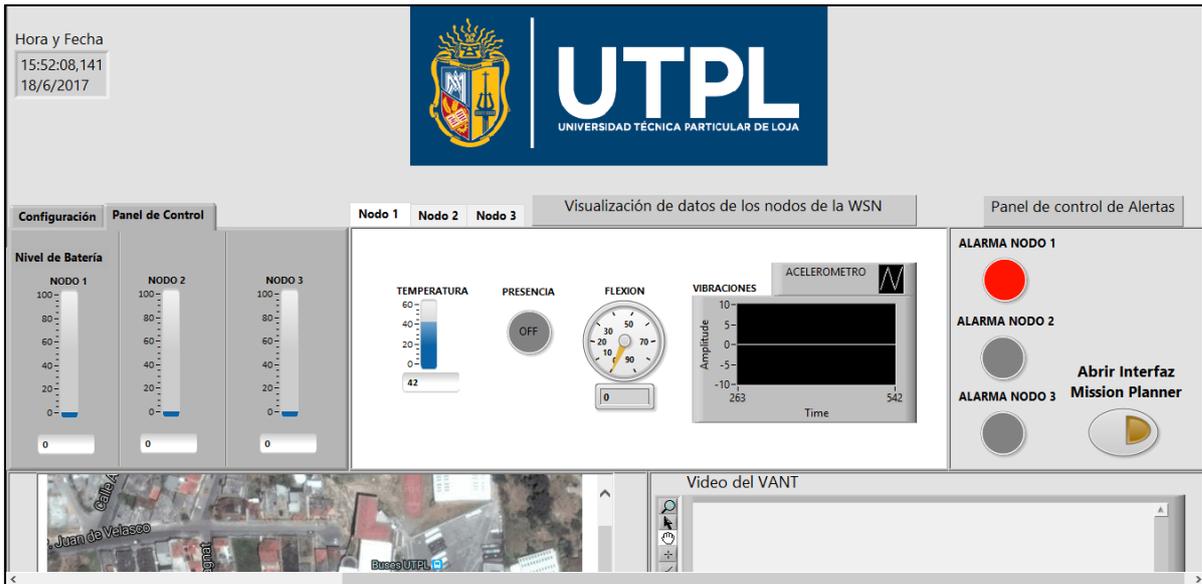


Figura 3.40. Interfaz para el control y monitorización de los nodos de la WSN.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Cada uno de los nodos se encontrará georeferenciado, de tal manera que al presentar la alerta, el mapa se actualiza indicando la ubicación del nodo en alerta, esto se realiza utilizando los recurso de “Google Maps” desarrollados para la interfaz de LabVIEW, modificando en cada caso las direcciones URL que se encuentran vinculadas a cada uno de los mapas, en la Figura 3.41 se puede observar la ubicación del nodo número 1 que se encuentra en alerta en la prueba realizada.

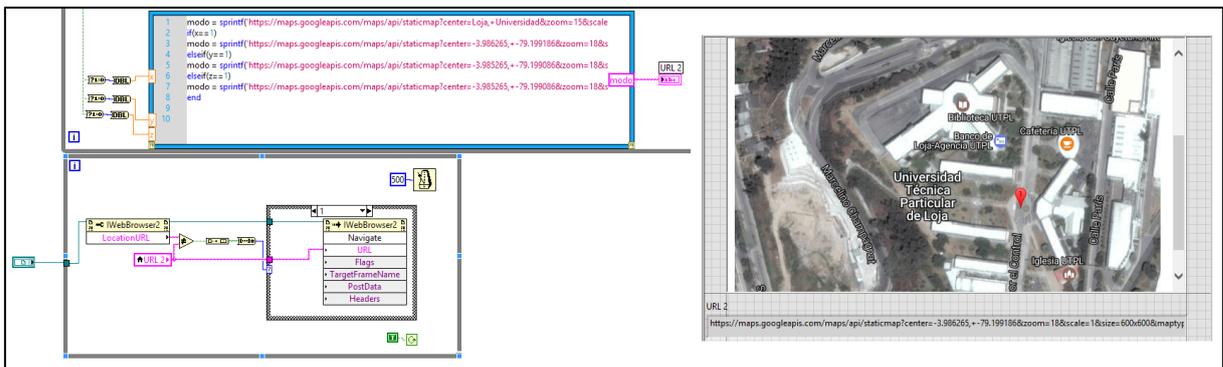


Figura 3.41. Cuadro de visualización de la posición del nodo en alerta usando Google Maps.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.8.3. Adquisición y visualización de imágenes de video.

En la Figura 3.42 se observa los bloques de “Vision Acquisition” usados en el programa, estos bloques generan una interfaz entre LabVIEW y la cámara web o cualquier dispositivo de adquisición de imágenes que se encuentre conectado a la PC, en este caso se configura este bloque con el módulo USB Video-Capture, que convierte una salida analógica de A/V en una interfaz USB en este caso la salida del receptor de video analógica de 5.8 GHz que recibe la señal de video obtenida por el VANT, y que es mostrada en la interfaz creada en LabVIEW para monitorear las zonas donde se haya levantado una alerta.

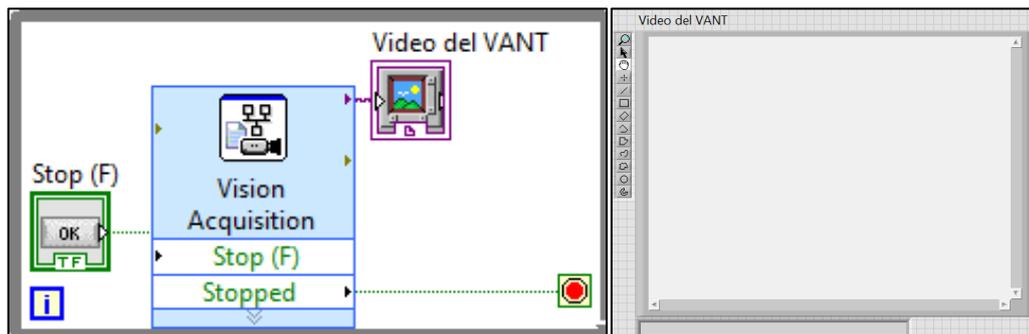


Figura 3.42. a) Bloques utilizados para la adquisición de video y
b) Interfaz de visualización del video obtenido del VANT.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.9. Interfaz del software Mission Planner

En la Figura 3.43 se muestra el panel de control de la interfaz del software *Mission Planner*, una vez conectado el módulo de telemetría, se tiene acceso a todos los datos de telemetría como distancia desde el punto de inicio o “HOME POINT”, la velocidad del VANT, la altitud, orientación e inclinación, desde aquí se modifican los modos de vuelo del VANT, e indicar en el mapa el punto donde se encuentra el nodo en el que se haya levantado la alerta y que necesita ser inspeccionado enviando al VANT hacia esa posición geográfica, los datos del punto final donde debe dirigirse el VANT son enviados por telemetría en la frecuencia de 915 MHz hacia el módulo de recepción que modifica los datos en la tarjeta controladora APM 2.6.



Figura 3.43. Interfaz del software Mission Planner.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

3.10. Cálculo de tiempo de vuelo del VANT.

Se realiza el cálculo teórico del tiempo de vuelo tomando en consideración todas las características físicas y eléctricas del sistema [42].

Primero se calcula la energía total proporcionada por la batería, en este caso se utiliza una batería Lipo Multistar de 5200 mAh de 4 S es decir 14.8 V.

$$E = P \times t \quad (3.9)$$

E= energía total proporcionada por la batería.

P= potencia de salida

t= tiempo de referencia.

$$E = (5.2 \text{ A} \times 14.8 \text{ V}) \times 1 \text{ h} = 76.96 \text{ Wh} \quad (3.10)$$

Ahora se calcula la densidad de energía proporcionada por dicha batería.

$$D = \frac{E}{P} \quad (3.11)$$

D= densidad de energía proporcionada por la batería.

$$D = \frac{76.96 \text{ Wh}}{0.475 \text{ kg}} \quad (3.12)$$

$$D = 162.02 \text{ Wh/kg} \quad (3.13)$$

$$TE = 4.4 \text{ g/W} \quad (3.14)$$

TE = empuje del motor por watio.

El empuje generado por cada uno de los motores es de 950 g a máxima potencia, ya que el sistema es de tipo Quad-rotor se tienen 4 motores que generaran el empuje antes descrito, se realiza el cálculo del empuje total del sistema conservando un 20 % de margen para la ejecución de maniobras del vehículo aéreo.

$$TT = T \times 4 \times 80 \% \quad (3.15)$$

T = empuje individual de cada motor.

TT = empuje total

$$TT = 950 \times 4 \times 80 \% = 3040 \text{ g} \quad (3.16)$$

$$Pb = Pe - Pc \quad (3.17)$$

Pe = peso total del VANT

Pc = peso carga útil

Pb = peso neto del VANT

$$Pb = 3040 - 900 = 2140 \text{ g} \quad (3.18)$$

$$Pw = \frac{3040}{4.4} = 690 \text{ W} \quad (3.19)$$

Pw = potencia requerida para mantener el VANT en el aire.

$$Et = Pw \times tv \quad (3.20)$$

tv = tiempo de vuelo requerido del sistema

Et = energía consumida por el sistema en 40 min.

$$Et = 690 \text{ W} \times 0.66 \text{ h} = 455 \text{ Wh} \quad (3.21)$$

Se procede a calcular la densidad de energía necesaria para que el VANT tenga una autonomía de 40 min.

$$D = \frac{455}{2140} = 212 \text{ Wh/Kg} \quad (3.22)$$

Considerando la densidad de energía que proporciona la batería que se utiliza se obtiene:

$$\frac{162}{212 \times 0.66 \text{ h}} = 30.26 \text{ min} \quad (3.23)$$

La autonomía de vuelo calculada del VANT es de 30.26 min.

4. CAPÍTULO IV
PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Introducción.

En este capítulo se detallan las pruebas realizadas con todos los sistemas electrónicos y de comunicación que componen el VANT y la red de sensores.

4.2. Pruebas de alcance de control y telemetría del VANT.

Para las pruebas de alcance del control del VANT se utilizó el control RC FLYSKY FS-i10 en modo "Range Test", este control trabaja en el rango de frecuencias de 2.4055 - 2.475 GHz con un ancho de banda de 500 KHz, el modo de transmisión es AFHDS (Automatic Frequency Hopping Digital System) y el tipo de modulación que se usa es GFSK, utilizando una potencia de transmisión de 100 mW, con una antena Omnidireccional de 3 dBi, y usando un receptor de -105 dBm de sensibilidad, ubicamos el VANT en un punto fijo de coordenadas (-3.988278; -79.201282) como se observa en la Figura 4.1, se moviliza el transmisor en línea recta comprobando en cada marca el nivel de señal generado en la comunicación.

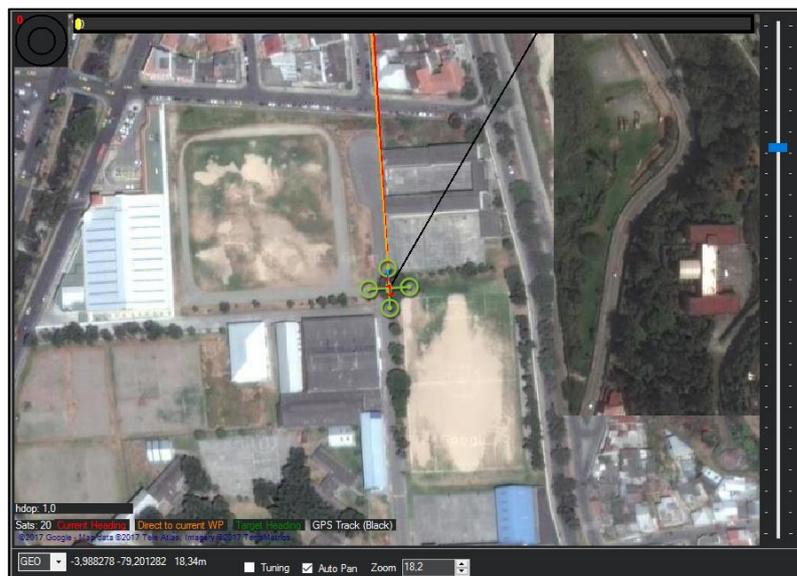


Figura 4.1. Ubicación del VANT para la realización de las pruebas.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.



Figura 4.2. Ubicación de cada punto donde se realizaron las mediciones.
 Fuente: Imagen propia del autor.
 Elaboración: Propia del autor.

Además se realizó el análisis teórico para calcular el nivel de señal existente en el enlace a partir de las pérdidas por espacio libre.

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (4.1)$$

Lfs = pérdida básica de transmisión en el espacio libre (dB)

f = frecuencia (GHz)

d = distancia (Km)

Cálculo de pérdidas por espacio libre a 300 m:

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(f) + 20 \log(D) \quad (4.2)$$

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(2.4) + 20 \log(0.3) \quad (4.3)$$

$$Lfs = 89.64 \text{ dB} \quad (4.4)$$

Balance de potencias:

$$PT = PTx - PcTx + GTx - PcRx + GRx - Lfs \quad (4.5)$$

PTx = Potencia de transmisión (dBm).

$PcTx$ = Pérdidas por cables y conectores Tx (dB).

GTx = Ganancia de antena Tx (dB).

GRx = Ganancia de antena Rx (dB).

$PcRx$ = Perdidas por cables y conectores Rx (dB).

$$PT = 20 \text{ dBm} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 89.64 \text{ dB} \quad (4.6)$$

$$PT = -64.64 \text{ dBm} \quad (4.7)$$

En la Tabla 4.1 se pueden observar los resultados de las mediciones de alcance del control en 2.4 GHz, realizadas a 50, 100, 200, 300 m, así como el respectivo nivel de señal obtenida y su equivalencia en dBm, además el nivel de señal obtenido en base al cálculo teórico del enlace, comprobando así que la comunicación es viable en cada uno de los casos.

Tabla 4.1. Resultados de la prueba de alcance de control.

Distancia	Porcentaje de señal	Nivel de señal(Pruebas de campo)	Nivel de señal(calculo teórico)
50 m	90 %	-60 dBm	-49.08 dBm
100 m	75 %	-67.5 dBm	-55.1 dBm
200 m	68 %	-71 dBm	-61.12 dBm
300 m	61 %	-74.5 dBm	-64.64 dBm

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Para realizar las pruebas de rango de alcance de la telemetría usamos el modulo transmisión a 915 MHz ubicado en el VANT con una potencia de transmisión de 100 mW y con una antena omnidireccional de 3 dBi, en complemento con el módulo de recepción que posee una sensibilidad de (-117 dBm) usando una antena omnidireccional de 3 dBi.



Figura 4.3. Nivel de señal obtenido a los 50 m de distancia.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Con los datos característicos de los equipos se realizó el análisis teórico para calcular el nivel de señal obtenido en el enlace a partir de las pérdidas por espacio libre.

Cálculo de pérdidas por espacio libre a 300 m.

$$Lfs = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(D) \quad (4.8)$$

$$Lfs = 32.4 + 20 \log(915) + 20 \log(0.3) \quad (4.9)$$

$$Lfs = 81.17 \text{ dB} \quad (4.10)$$

Balance de potencias:

$$PT = PTx - PcTx + GTx - PcRx + GRx - Lfs \quad (4.11)$$

$$PT = 20 \text{ dBm} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 81.17 \text{ dB} \quad (4.12)$$

$$PT = -56.17 \text{ dBm} \quad (4.13)$$

En la Tabla 4.2 se pueden observar los resultados de las mediciones de alcance del sistema de telemetría realizadas a 50, 100, 200, 300 m, así como el respectivo nivel de señal obtenido y su equivalencia en dBm, además el nivel de señal obtenido en base al cálculo teórico del enlace, en todos los casos se observan valores de señal óptimos por lo que el enlace es viable en cada uno de los casos.

Tabla 4.2. Resultados prueba de alcance de telemetría.

Distancia	Nivel de señal	Nivel de señal(Prueba de campo)	Nivel de señal(Calculo teórico)
50 m	99 %	-67.5 dBm	-40.6 dBm
100 m	90 %	-72 dBm	-46.63 dBm
200 m	85 %	-74.5 dBm	-52.65 dBm
300 m	82 %	-76 dBm	-56.17 dBm

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

4.3. Pruebas de alcance del sistema de comunicación de la WSN.

En la Figura 4.4 se muestra la ubicación de la estación base de la WSN, así como la ubicación de los 3 nodos de sensores que forman parte de la red de sensores y que se encuentran dentro de un perímetro de 300 m.



Figura 4.4. Ubicación de la estación base y de los nodos que componen la WSN.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Se realizó la prueba de alcance del sistema, para esta prueba se utilizaron los módulos XBee Pro S3B que poseen una sensibilidad de receptor de -101 dBm con una potencia de transmisión de 250mW junto con antenas omnidireccionales de 3 dBi en cada uno, uno de los módulos se ubicó en la estación base y otro se utilizó como nodo móvil para realizar las mediciones en cada una de las marcas asignadas a 100, 200 y 300 m de la estación base, usamos la aplicación XCTU y ejecutando la herramienta "Radio range test" lo que permite enviar en un momento determinado un número fijo de paquetes, comprobando si él envió de paquetes es correcto y si existen paquetes perdidos durante la comunicación, mostrando además el nivel de señal existente en la comunicación.

Además de la prueba de campo se realizó el análisis de las pérdidas por espacio libre generadas en la comunicación, para así realizar el cálculo teórico del nivel de señal obtenido en el enlace.

Calculo de pérdidas por espacio libre a 300 m.

$$Lfs = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(D) \quad (4.14)$$

$$Lfs = 32.4 + 20 \log(900) + 20 \log(0.3) \quad (4.15)$$

$$Lfs = 81.02 \text{ dB} \quad (4.16)$$

Balance de potencias:

$$PT = PTx - PcTx + GTx - PcRx + GRx - Lfs \quad (4.17)$$

$$PT = 24 \text{ dBm} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 81.02 \text{ dB} \quad (4.18)$$

$$PT = -52.02 \text{ dBm} \quad (4.19)$$

- **Distancia 100 m:**

En la Figura 4.5 se puede observar los resultados de la prueba de cobertura a 100 m, porcentaje de paquetes enviados y recibidos 100 %, nivel de señal en el nodo remoto -57 dBm.

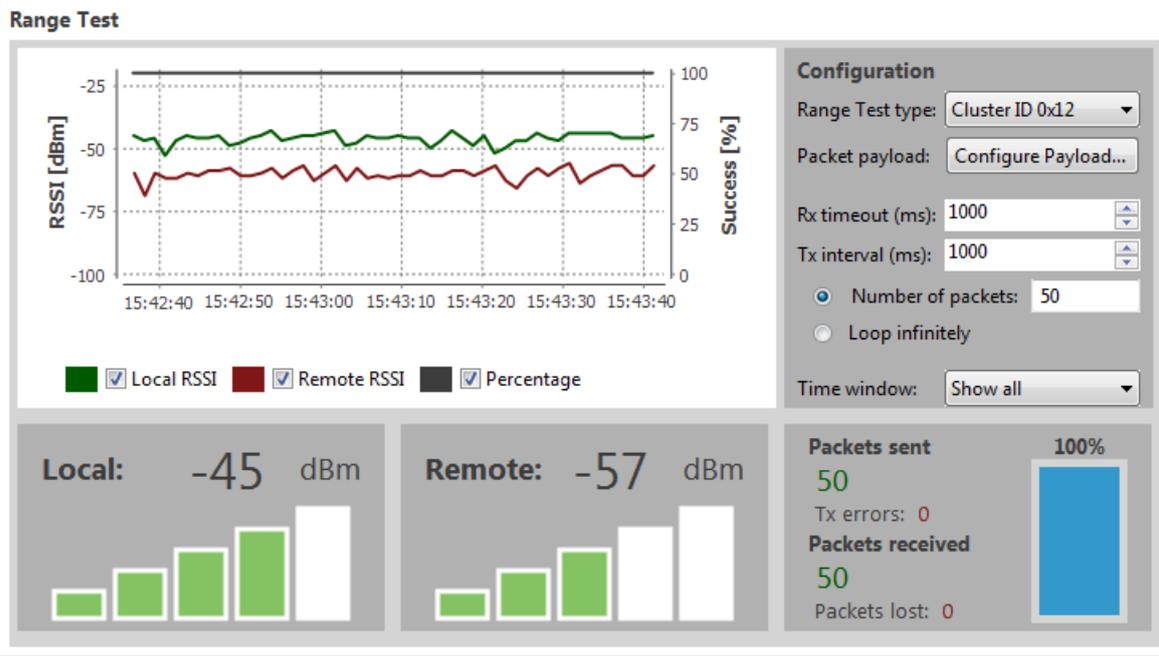


Figura 4.5. Prueba de cobertura obtenida a 100 m de distancia.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

- **Distancia 200 m:**

En la Figura 4.6 se puede observar los resultados de la prueba de cobertura a 200 m, porcentaje de paquetes enviados y recibidos 100 %, nivel de señal en el nodo remoto -62 dBm.

Range Test

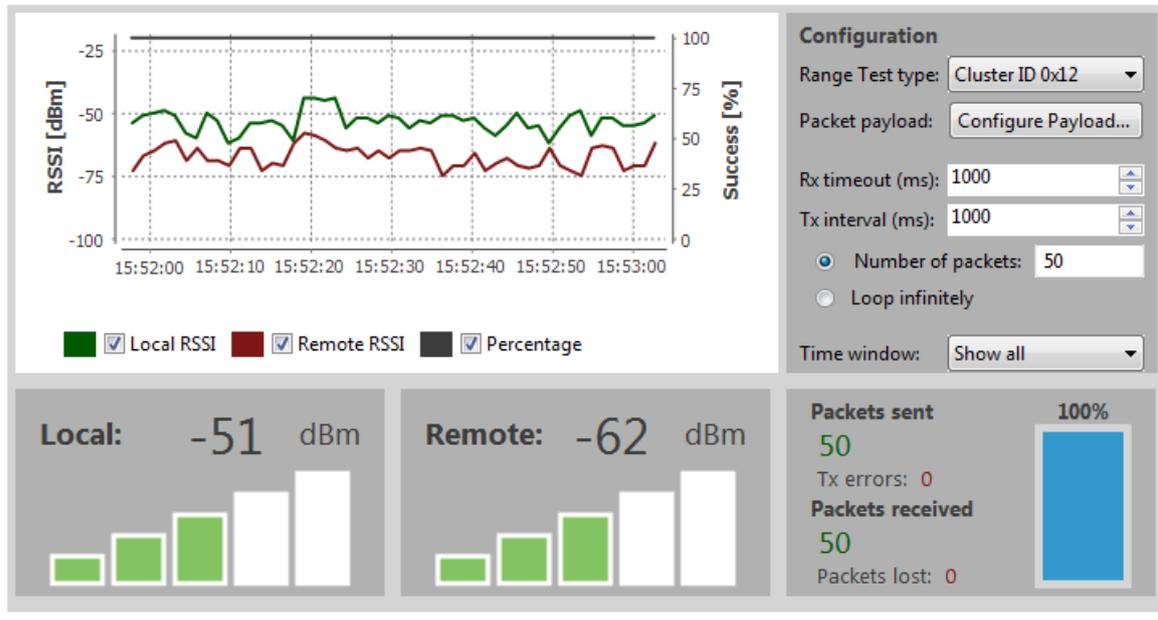


Figura 4.6. Prueba de cobertura obtenida a 200 m de distancia.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

- **Distancia 300 m:**

En la Figura 4.7 se puede observar los resultados de la prueba de cobertura a 300 m, porcentaje de paquetes enviados y recibidos 100 %, nivel de señal en el nodo remoto -69 dBm.

Range Test

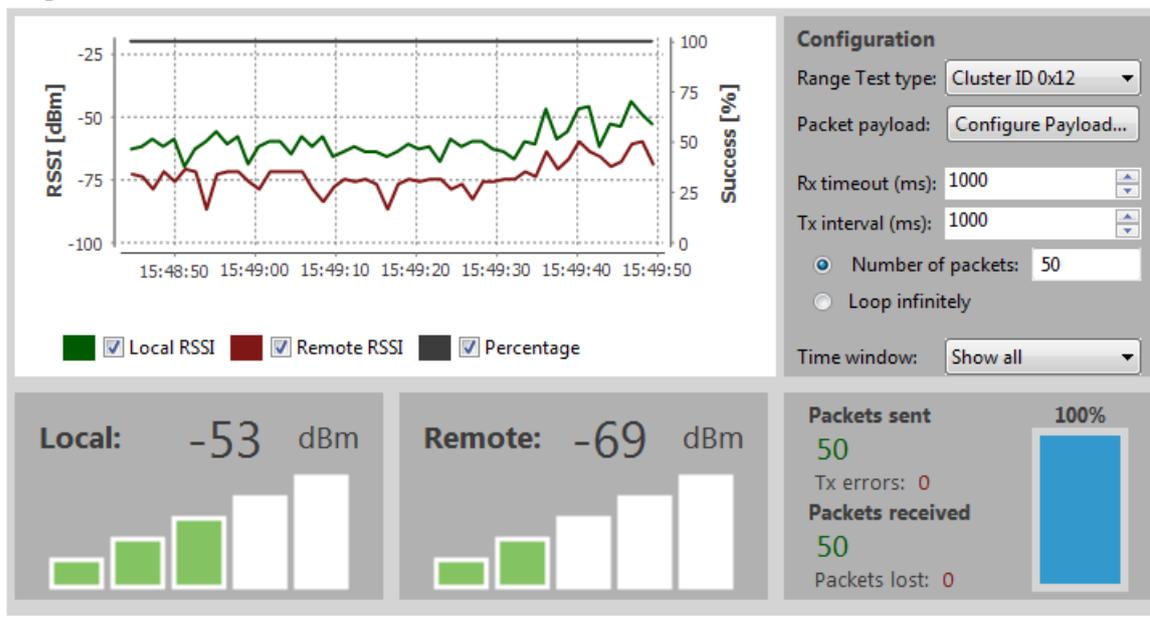


Figura 4.7. Prueba de cobertura obtenida a 300 m de distancia.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Tabla 4.3 se pueden observar los resultados de las mediciones de alcance del sistema de comunicación usando los módulos XBee Pro S3B realizadas a 100, 200, 300 m, así como el respectivo nivel de señal obtenido y la cantidad de paquetes enviados y recibidos en las transmisiones, además el nivel de señal obtenido en base al cálculo teórico del enlace, observando niveles de señal óptimos para establecer una comunicación viable en cada uno de los casos.

Tabla 4.3. Resultados de la prueba de alcance de comunicación de la WSN.

Distancia	Nivel de señal(pruebas de campo)	Nivel de señal(calculo teórico)	Número de paquetes enviados	Número de paquetes recibidos
100 m	-57 dBm	-42.48 dBm	50	50
200 m	-62 dBm	-48.5 dBm	50	50
300 m	-69 dBm	-52.02 dBm	50	50

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

4.4. Pruebas de alcance de transmisión y recepción del video del VANT.

Se realiza la prueba utilizando el transmisor de video TX-5D con los siguientes parámetros:

- Potencia transmisión: 600 mW
- Canal: 5860 MHz
- Ganancia de antena: 5 dBi

Y un receptor con las siguientes características:

- Sensibilidad de recepción: -90 dBm
- Ganancia de antena: 3 dBi

Se toman puntos de referencia a 50, 100, 200, 300 m del punto donde se ubica el VANT, en cada uno de los puntos verificamos si la comunicación es viable.

Calculo de pérdidas por espacio libre a 300 m.

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(f) + 20 \log(D) \quad (4.20)$$

$$Lfs = 92.5 + 20 \log(5.8) + 20 \log(0.3) \quad (4.21)$$

$$Lfs = 97.31 \text{ dB} \quad (4.22)$$

Balance de potencias:

$$PT = PTx - PcTx + GTx - PcRx + GRx - Lfs \quad (4.23)$$

$$PT = 27.8 \text{ dBm} - 0.5 \text{ dB} + 5 \text{ dBi} - 0.5 \text{ dB} + 3 \text{ dBi} - 97.31 \text{ dB} \quad (4.24)$$

$$PT = -62.51 \text{ dBm} \quad (4.25)$$

Tabla 4.4. Resultados prueba de alcance de transmisión de video

Distancia	Nivel de señal(calculo teórico)
50 m	-46.94 dBm
100 m	-52.97 dBm
200 m	-58.99 dBm
300 m	-62.51 dBm

Fuente: Propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.

4.5. Pruebas de autonomía del Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT).

Para la prueba experimental se realiza un vuelo estacionario a una altura de 3 m en las coordenadas (-3.988050; -79.201043) como se puede observar en la Figura 4.8, para calcular el tiempo de vuelo real del sistema en condiciones de viento normales, se inicia el vuelo con un nivel de batería de 16.4 V, prueba iniciada a las 12:57 pm.



Figura 4.8. Ubicación del VANT durante la prueba de vuelo.

Fuente: Imagen propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.



Figura 4.9. Prueba de autonomía del VANT.
Fuente: Imagen propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 4.10 se observa la posición y el tiempo final del vuelo del VANT al finalizar la prueba, la prueba terminó a las 13:11 pm, obteniendo así una autonomía de vuelo aproximada de 14 minutos en condiciones normales de viento.



Figura 4.10. Estado del VANT luego de la prueba de autonomía.
Fuente: Imagen propia del autor.
Elaboración: Propia del autor.

4.6. Pruebas de medición de tiempos de vuelo del VANT a cada uno de los nodos.

Se realizó las pruebas de vuelo para medir el tiempo que tarda el VANT en llegar a cada uno de los nodos que conforman la WSN desde la estación base, en la Figura 4.11 se puede

observar las ubicaciones de cada uno de los nodos de la WSN, en cada prueba se utilizó el modo de vuelo de piloto automático controlando la altura del VANT manualmente haciendo uso del control RC.

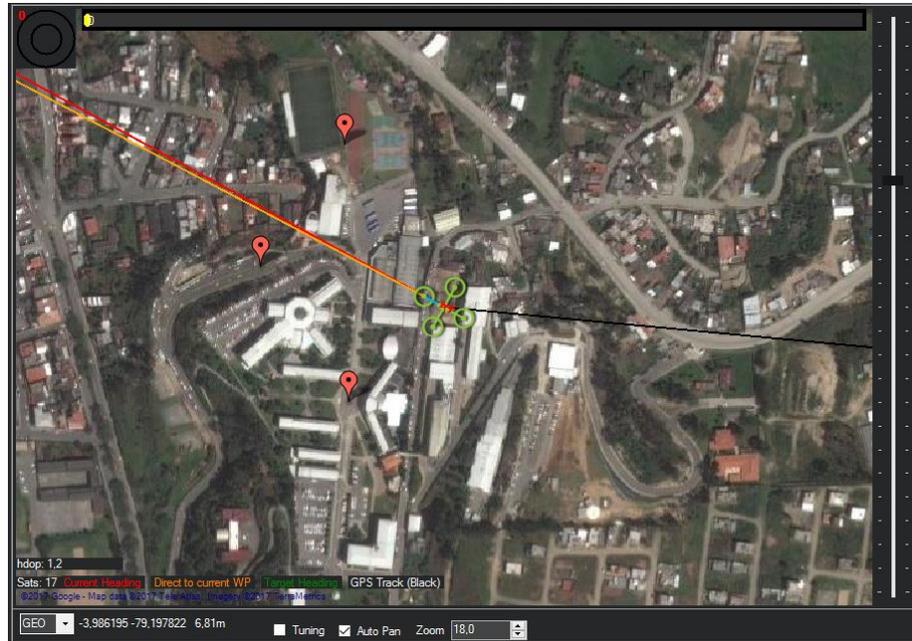


Figura 4.11. Ubicación del VANT y de los nodos de la WSN durante misión de vuelo.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Durante la prueba se tomaron fotografías aéreas de las ubicaciones de cada uno de los nodos que pueden ser observadas en la Figura 4.12 esto se realizó para demostrar la amplitud de visión que se llega a obtener al usar este sistema.



Figura 4.12. Vista aérea de las ubicaciones de los nodos durante la prueba de tiempos de vuelo.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Tabla 4.5 se puede observar los resultados de la prueba, indicando las ubicaciones, las distancias entre cada nodo y la estación base y finalmente el tiempo que tardó el VANT en llegar a cada nodo de la WSN desde la estación base.

Tabla 4.5. Resultados de la prueba de medición de tiempos de vuelo.

Ubicación	Distancia desde la estación base	Tiempo de vuelo
Estación base - nodo 1	128 m	30 s
Estación base - nodo 2	167 m	35 s
Estación base - nodo 3	170 m	38 s

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

4.7. Pruebas de recepción de datos en la interfaz de LabVIEW y prueba general del sistema.

Se realizó la prueba de recepción de datos en la interfaz desarrollada en LabVIEW, prueba realizada a las 22:06:39, como se puede observar en la Figura 4.13 los datos de cada uno de los nodos son recibidos y separados por variables y presentados individualmente en cada uno de los indicadores, en este caso se puede observar los niveles de batería de cada uno de los nodos que forman la WSN, así como los valores de temperatura, el estado del sensor de presencia, el grado de flexión del sensor flexo-resistivo, y el grado de inclinación del acelerómetro; En esta prueba se encuentran todos los datos en sus niveles normales por lo que no existe ninguna alerta mostrada en la interfaz.

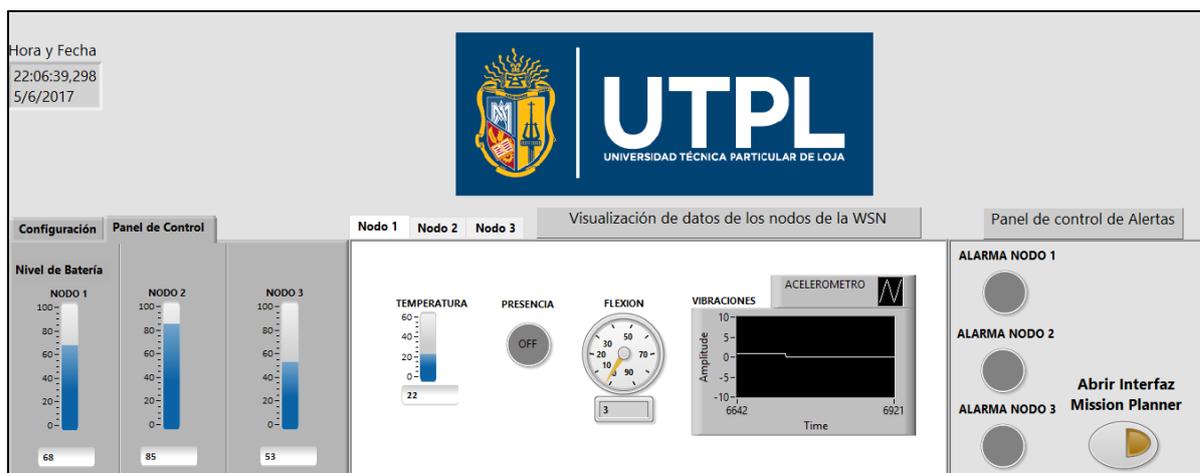


Figura 4.13. Prueba 1 de funcionamiento de la recepción de datos de la WSN.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 4.14 se observa una perturbación en el sensor de presencia perteneciente al nodo 2, lo que indica que existe una intrusión dentro del rango de monitoreo de ese nodo, de tal manera que se enciende la alerta del nodo 2 indicando de manera visual en la interfaz dicha alerta.

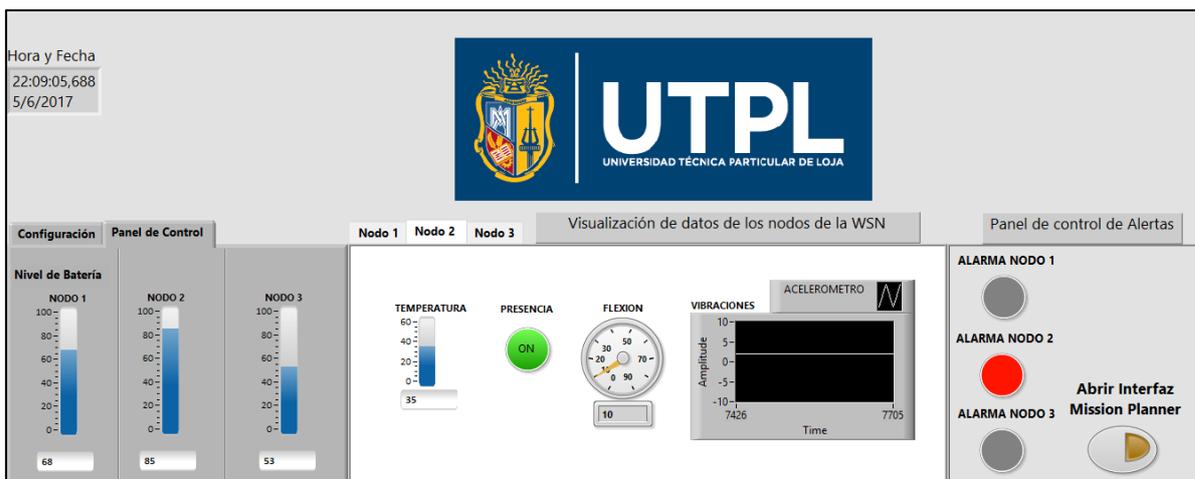


Figura 4.14. Prueba 2 de funcionamiento de la recepción de datos de la WSN.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

Se observa en la Figura 4.15 la posición exacta del nodo en alerta en este caso ubicado en las coordenadas (-3.984200, -79.199335) generada por el complemento de Google Maps, de tal manera que el operador puede dirigir el VANT hacia dicho punto para realizar el correspondiente monitoreo de la zona, inicializando la interfaz de *Mission Planner*.

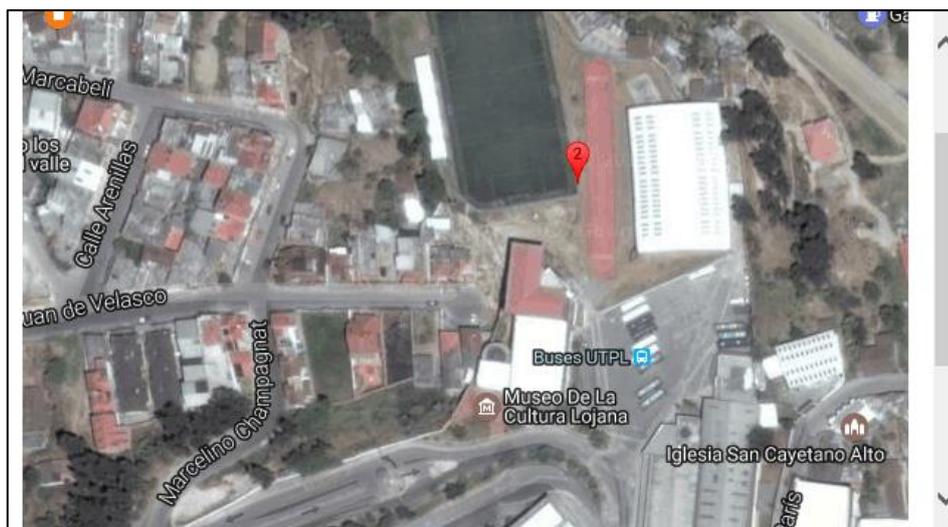


Figura 4.15. Ubicación del nodo en alerta.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 4.16 se observa la interfaz del software de Mission Planner con las localizaciones de cada uno de los nodos de la WSN así como la ubicación del VANT dentro del mapa, desde esta interfaz se procede a establecer la ruta de vuelo hacia el nodo 2 que se encuentra en alerta y se activa el vuelo automático hacia dicho punto.

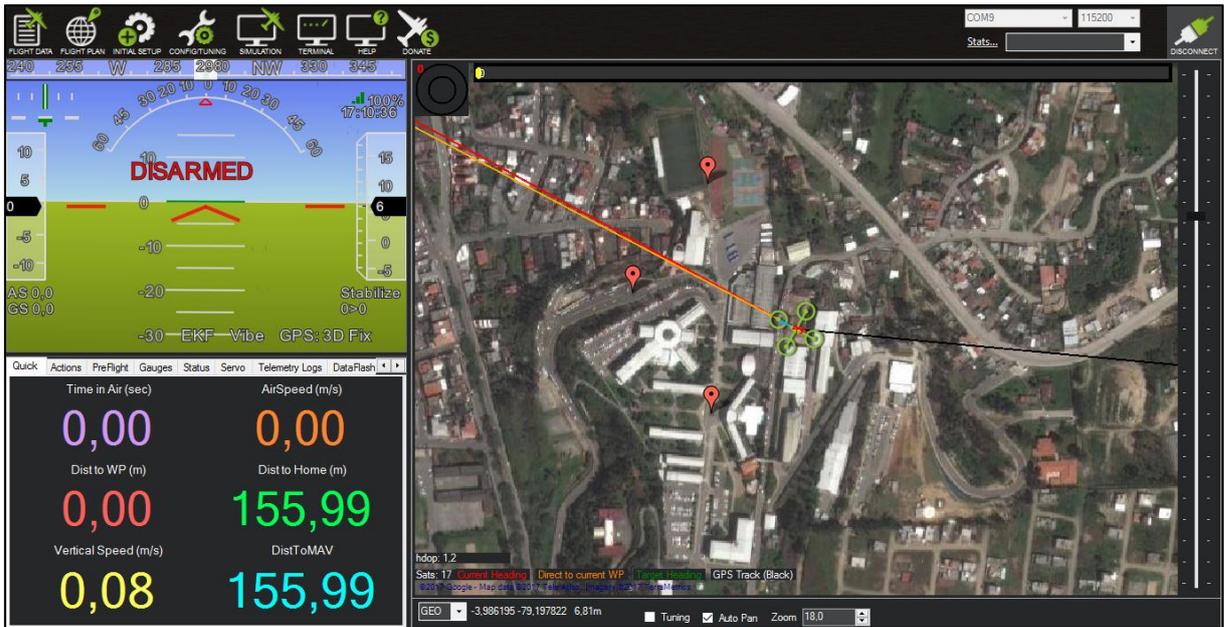


Figura 4.16. Ubicación del VANT y de los nodos de la WSN durante misión de vuelo.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Figura 4.17 se observa un fotograma obtenido del video grabado por el VANT durante el proceso de videovigilancia comprobando así la efectividad del sistema ya que se obtiene una vista amplia y clara del nodo en monitoreo, pudiendo así hacer una inspección completa de toda la zona y así el operador pueda tomar decisiones eficaces para resolver esta eventualidad.



Figura 4.17. Vista aérea del nodo 2 durante el proceso de videovigilancia.

Fuente: Imagen propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

En la Tabla 4.6 se observan las características del vuelo del VANT obtenidas en la simulación de alerta del nodo 2.

Tabla 4.6. Datos obtenidos del vuelo del VANT.

Tiempo de vuelo desde la estación base hacia el nodo 2	30 s
Tiempo de vuelo de retorno a la estación base	50 s
Tiempo total de inspección	98 s
Velocidad horizontal promedio de vuelo	12 m/s
Altura máxima de vuelo	56 m

Fuente: Propia del autor.

Elaboración: Propia del autor.

CONCLUSIONES

- Se ha logrado diseñar e implementar un sistema de videovigilancia basado en VANT y WSN con un rango de cobertura de 300 m. Este sistema puede ser implementado en ambientes civiles e industriales gracias a su eficiente adaptación y rápida instalación.
- Se logró el desarrollo de un VANT con una autonomía de vuelo de 14 minutos y un rango de control de 300 m, con una capacidad de carga de 2140 g, capaz de realizar misiones de piloto automático basadas en GPS y con un rango de precisión de vuelo de 2.5 m en su eje horizontal y vertical, y con la capacidad de obtener y transmitir video en tiempo real en la frecuencia de 5.8GHz.
- Se logró la implementación de una WSN usando la tarjeta de programación Wasp mote, usando el protocolo de comunicación DigiMesh que nos brinda flexibilidad con posibilidad de expandir la red sin tener que realizar configuraciones en la red, además de permitir el uso de varios sensores predefinidos en el sistema sin necesidad de realizar un condicionamiento especial para su uso, gracias al uso de librerías especializadas para cada tipo de sensor.
- Se logró el desarrollo de una interfaz de usuario u operador, usando el software LabVIEW, lo que permite al usuario observar las variables que son adquiridas en cada uno de los nodos. Adicionalmente visualizar la ubicación de cada uno de los nodos que componen la WSN, y tener acceso al video transmitido en tiempo real por el VANT durante los procesos de inspección dentro del rango operativo del sistema, obteniendo un tiempo de respuesta promedio de 34.3 s desde que se produce una alerta hasta realizar el proceso de videovigilancia respectivo en la zona.
- Finalmente, al desarrollar una plataforma de obtención de imágenes en tiempo real usando un VANT y WSN, se promueve la investigación y desarrollo de prototipos innovadores basados en la vinculación de vehículos aéreos no tripulados con otras tecnologías de vanguardia, minimizando costos y mejorando el rendimiento de muchas aplicaciones cotidianas de seguridad y vigilancia.

RECOMENDACIONES

- Además de la batería de Litio Polímero que suministra la energía a cada uno de los nodos de la WSN se recomienda el uso de un panel solar que sirva como complemento energético del sistema.
- Se recomienda usar motores brushless de menor KV y mayor empuje, esto permitirá aumentar considerablemente la autonomía de vuelo del VANT, ayudando así a realizar inspecciones o tareas de monitoreo de mayor tiempo y complejidad.
- Para mejorar el alcance del sistema de transmisión de video en 5.8 GHz, se recomienda usar antenas directivas de alta ganancia, y un antenna tracker que va a permitir mantener un enlace activo durante todo el vuelo del VANT.
- Se debe tener un claro conocimiento de las normas que rigen el uso de VANT y RPAS en el país para no incurrir en contravenciones al usar estos equipos en áreas urbanas y zonas consideradas como restringidas.

BIBLIOGRAFÍA

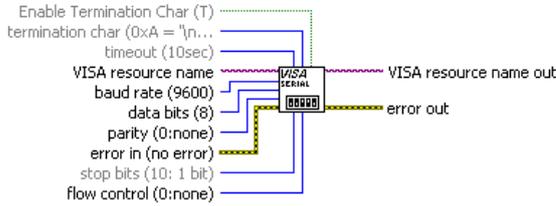
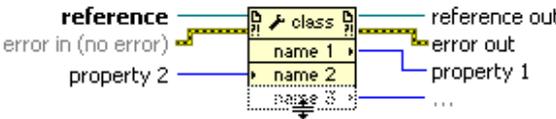
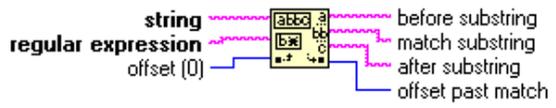
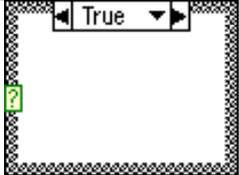
- [1] R. Kumar, H. Sawhney, S. Samarasekera, S. Hsu, H. Tao, Y. Guo, *et al.*, "Aerial video surveillance and exploitation," *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, pp. 1518-1539, 2001.
- [2] N. V. Kim and M. A. Chervonenkis, "Situation control of unmanned aerial vehicles for road traffic monitoring," *Modern Applied Science*, vol. 9, p. 1, 2015.
- [3] M. Nagai, A. Witayangkurn, K. Honda, and R. Shibasaki, "UAV-Based Sensor Web Monitoring System," *International Journal of Navigation and Observation*, vol. 2012, 2012.
- [4] S. Qazi, A. S. Siddiqui, and A. I. Wagan, "UAV based real time video surveillance over 4G LTE," in *2015 International Conference on Open Source Systems & Technologies (ICOSST)*, 2015, pp. 141-145.
- [5] Y. Nijsure, M. F. Ahmed, G. Kaddoum, G. Gagnon, and F. Gagnon, "WSN-UAV monitoring system with collaborative beamforming and ADS-B based multilateration," in *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2016 IEEE 83rd*, 2016, pp. 1-5.
- [6] D. Ahir and T. Patel, "Unmanned Aerial Vehicle Technology Using Wireless Sensor Networks," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 4, 2014.
- [7] N. Aakvaag and J.-E. Frey, "Redes de sensores inalámbricos."
- [8] J. C. T. Pardo, "Estado del arte-Sistemas de Información para Redes de Sensores Inalámbricos Ubicuos," ed: Colombia, 2002.
- [9] E. Flores, "Redes de Sensores Inalámbricas Aplicado a la Medicina," 2012.
- [10] J. Adolfo Ramírez, J. Alberto Buitrago, and J. Iván Marín, "RED DE SENSORES DE LARGA DISTANCIA USANDO ZIGBEE PARA EL MONITOREO Y LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO-COLOMBIA," *Journal of Research of the University of Quindío*, vol. 25, 2014.
- [11] D. International, "Wireless Mesh Networking ZigBee vs DigiMesh," 2013.
- [12] A. Barrientos, J. del Cerro, P. Gutiérrez, R. San Martín, A. Martínez, and C. Rossi, "Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones," *Universidad politécnica de Madrid, Madrid*, 2007.
- [13] T. Luukkonen, "Modelling and control of quadcopter," *Independent research project in applied mathematics, Espoo*, 2011.
- [14] A. DiCesare, "Design optimization of a quad-rotor capable of autonomous flight," WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE, 2008.
- [15] S. Z. Z. Win, Z. M. M. Htun, and H. M. Tun, "Smart Security System For Home Appliances Control Based On Internet Of Things."
- [16] Libellium, "Waspote Technical Guide," 2017.

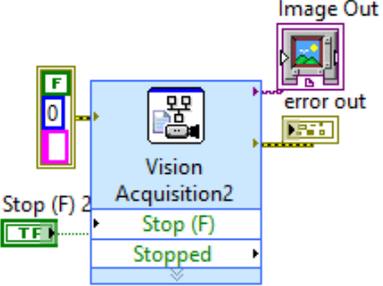
- [17] L. Millas. (2015, 10 Febrero). *Detector de movimiento con Arduino y Sensor PIR*. Available: <https://www.luisllamas.es/detector-de-movimiento-con-arduino-y-sensor-pir/>
- [18] Sapiensman. (2015). *Instrumentación industrial*. Available: http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial12.php
- [19] D. G. d. A. Civil, "Resolución No 251/2015," p. 2/3, 2015.
- [20] Sparkfun. (18 Febrero). *Flex Sensor 2.2"*. Available: <https://www.sparkfun.com/products/10264>
- [21] Spectrasymbol. (2014) *Flex Sensor. 2*.
- [22] BricoGeek. *Sensor de movimiento PIR*. Available: <http://tienda.bricogeek.com/sensores/42-sensor-de-movimiento-pir.html>
- [23] G. Flight. (12 Febrero). *DJI Flame Wheel F450 ARF*. Available: <http://www.globe-flight.de/DJI-NAZA-ARF-Kit-quadrocopter-Hobby-F450-E305>
- [24] C. Baraza. (25 Febrero). *Motores Brushless*. Available: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>
- [25] AliExpress. (Febrero 16). *Emax MT 2216-810KV*. Available: https://es.aliexpress.com/store/product/EMAX-MT-2216-810KV-1045Combo-Brushless-motor-for-Multirotors/216344_1512772515.html?detailNewVersion=&categoryId=200001407
- [26] C. Notions. (23 Febrero). *1000KV BLDC motor A2212 + 30A ESC set*. Available: <http://www.cnkits.in/product/1000kv-bldc-motor-a2212-30a-esc-set/>
- [27] C. Baraza. (Febrero 23). *ESC's*. Available: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/esc>
- [28] Ardumanía. *Apéndice del ejercicio 3: señales de control RC*. Available: <http://www.ardumania.es/apendice-del-ejercicio-3-senales-de-control-rc/>
- [29] MYRCMART. (2015, 2017 Mayo 31). *APM 2.6 ArduPilot Mega 2.6 Flight Control Board* Available: <http://www.myrcmart.com/apm-26-ardupilot-mega-26-flight-control-board-multicopter-plane-helicopter-p-7816.html>
- [30] Ardupilot. (2016). *Archived:APM 2.5 and 2.6 Overview*. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-apm25-and-26-overview.html>
- [31] P. autopilot. *GPS Modules*. Available: <https://pixhawk.org/peripherals/sensors/gps>
- [32] ebay. (2016). *Nuevo 3DR Radio telemetría Kit 433 915mhz* Available: <http://www.ebay.com/itm/New-3DR-Radio-Telemetry-Kit-433-915MHZ-Module-Open-source-for-APM-APM2-5-2-5-2-/251659158826>
- [33] DIATONE. *HS1177 1177 SONY CCD MINI FPV CAMERA*. Available: http://www.diatoneusa.com/store/p256/HS1177_Sony_600TVL_CCD_FPV_Camera

- [34] Ardupilot. (2016). *Minim OSD Quick Installation Guide*. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-minim-osd-quick-installation-guide.html>
- [35] Ardupilot. (2016, Mayo 18). *Connect ESCs and Motors*. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html>
- [36] DJI. (2013, Noviembre 23). *F450 ESC and Motor Mounting*. Available: http://wiki.dji.com/en/index.php/F450_ESC_and_Motor_Mounting
- [37] Ardupilot. (2016, Noviembre 30). *Rover APM2.x Wiring and Quick Start*. Available: <http://ardupilot.org/rover/docs/rover-apm2-setup.html>
- [38] Ardupilot. (2016, Mayo 18). *Compass Calibration*. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-compass-calibration-in-mission-planner.html>
- [39] S. L. Libelium, "Smart Metering 2.0," 2015.
- [40] A. DEVICES, "Low Voltage Temperature Sensors, TMP36," *ANALOG DEVICES*, pp. 5-19, 2015.
- [41] Libelium. (2017, Junio 20). *Redes de Sensores Inalámbricos* Available: <http://wsnblog.com/tag/waspmote/page/2/>
- [42] electronPi. *Cálculo da Autonomia de Voo de um Drone*. Available: <http://www.eletronpi.com.br/pd04-autonomia-de-drone.aspx>

ANEXOS

ANEXO A: BLOQUES UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DEL VI DE LABVIEW.

Bloque	Icono	Descripción
Visa Serial		<p>Este bloque inicializa el puerto serial especificado por el control "VISA resource name" con las características especificadas.</p>
Property Node		<p>Lee y/o escribe las propiedades o métodos de referencia de la entrada.</p>
Match Pattern Function		<p>Esta función se encarga de buscar una expresión regular en la cadena, y si encuentra la coincidencia divide la cadena en tres sub-cadenas, una cadena antes de la coincidencia, otra que indica la cadena de coincidencia, y otra cadena luego de la coincidencia.</p>
While Loop		<p>Repite el código dentro del subdiagrama hasta que se produzca una condición específica. El Loop While siempre se ejecuta al menos una vez.</p>
Case Structure		<p>Contiene uno o más subdiagramas o casos, que se ejecuta cuando la condición del caso sea verdadera. El valor conectado al terminal selector determina qué caso ejecutar.</p>

<p>Get Date/Time In Seconds Function</p>		<p>Devuelve una marca de tiempo de la hora actual.</p>
<p>Wait Function</p>	<p>milliseconds to wait </p>	<p>Espera el número especificado de tiempo en milisegundo.</p>
<p>Vision Acquisition</p>		<p>Inicializa la adquisición de imágenes del dispositivo que se haya configurado dentro del bloque.</p>

Elaboración: Propia del autor.

ANEXO B: PROGRAMACIÓN DE LOS MODULOS XBEE S3B.

Para el proceso de configuración de los módulos XBee S3B con el protocolo de comunicación DigiMesh, se conecta los módulos a través del puerto serial con un Baud Rate de 9600.

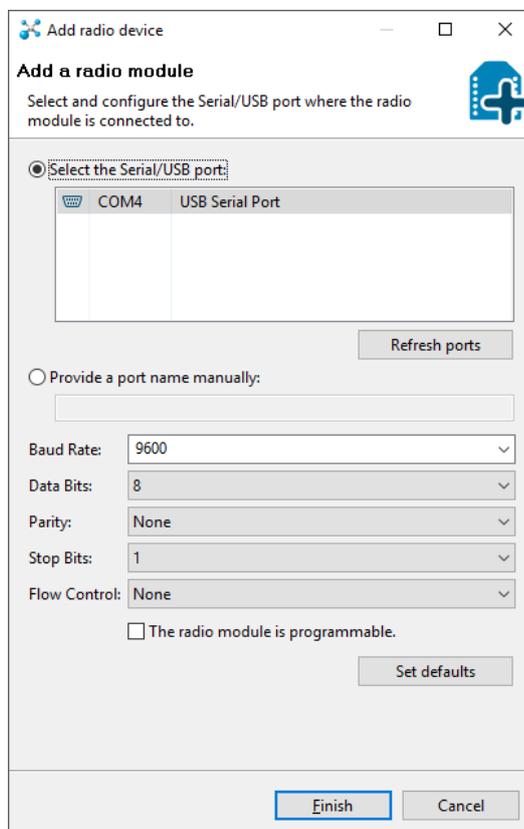


Figura 5.1. Interfaz para la conexión del XBee.
Fuente: Imagen propia del autor.

Luego de conectarlo, en pantalla se mostrará el nombre asignado al módulo, el tipo de módulo, el puerto de comunicación y la MAC del mismo.

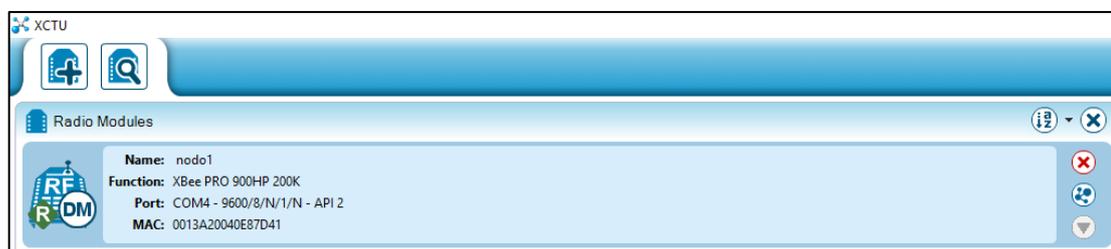


Figura 5.2. Características del módulo XBee conectado a través del puerto serial.
Fuente: Propia del autor.

Luego se procede a ingresar al apartado de Update firmware donde aparecerán los 3 protocolos disponibles, en nuestro caso se utilizó el XBP98-DM con la versión 8071 que es la última para este protocolo.

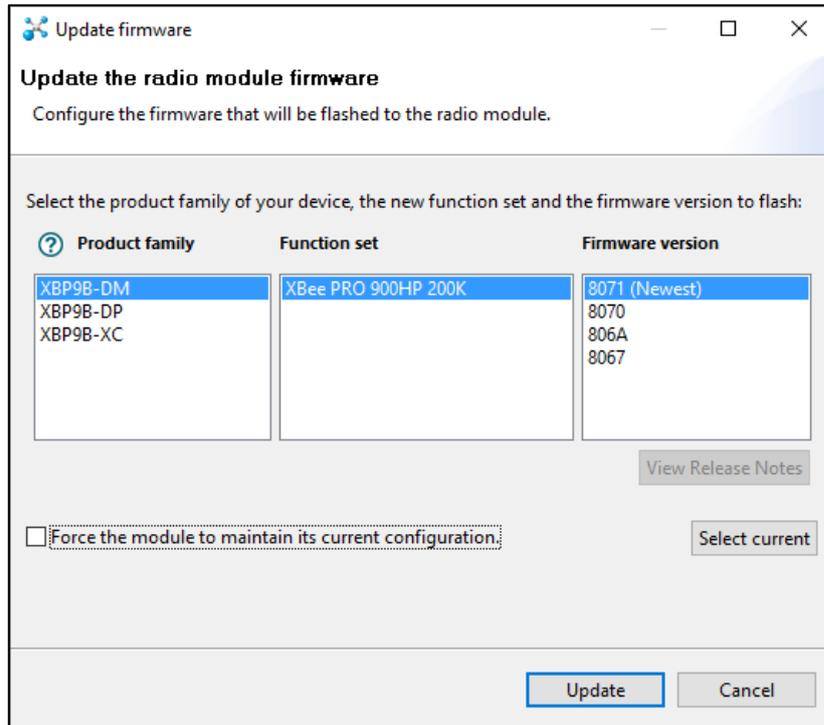


Figura 5.3. Interfaz de actualización del firmware de XCTU.
Fuente: Imagen propia del autor.

Luego de realizar la actualización de firmware del módulo, se procede a configurar algunos de los parámetros de red y de comunicación.

En el parámetro Network ID, se procede a escribir el identificador de nuestra red, todos los módulos que pertenecen a la misma red de comunicación deben tener el mismo identificador de red.

Además se configura la potencia de transmisión del módulo pudiendo escoger entre: +7 dBm, +15 dBm, +18 dBm, +21 dBm y +24 dBm siendo la potencia de transmisión máxima, la misma que será usada en esta red equivalente a 250 mW.

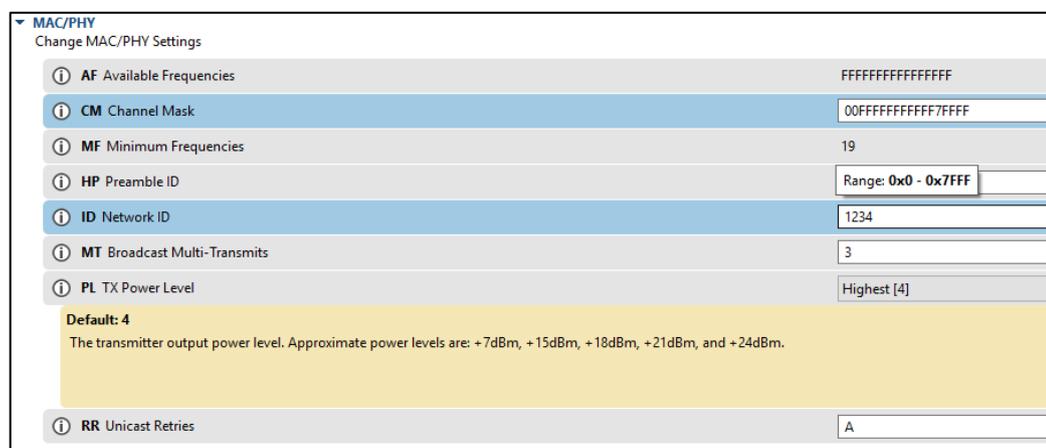


Figura 5.4. Parámetros para la configuración del Network ID y la potencia de transmisión.
Fuente: Imagen propia del autor.

En la sección de Addressing se modifica el Identificador de Nodo con el nombre que vaya a ser usado para referenciar a ese nodo dentro de la red.

Addressing	
Change Addressing Settings	
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	40E87D41
DH Destination Address High	0
DL Destination Address Low	FFFF
TO Transmit Options	C0
NI Node Identifier	nodo1
NT Network Discovery Back-off	82
NO Network Discovery Options	0
CI Cluster ID	11

Figura 5.5. Parámetros para la configuración del Identificador del nodo.
Fuente: Imagen propia del autor.

Se configura el modo “API with Escapes”, lo que evitara la perdida de paquetes por caracteres escapados que puedan ser enviados dentro de la trama.

BD Baud Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
SB Stop Bits	One stop bit [0]
RO Packetization Timeout	3
FT Flow Control Threshold	13F
AP API Enable	API Mode With Escapes [2]
Default: 0 The API mode setting. RF Packets received can be formatted into API frames to be sent out the UART. When API is enabled the	Transparent Mode [0] API Mode Without Escapes [1] API Mode With Escapes [2]
AO API Options	API Rx Indicator - 0x90 [0]

Figura 5.6. Parámetros para la configuración del modo API.
Fuente: Imagen propia del autor.

ANEXO C: DATOS DE EQUIPOS

Waspote PRO V1.2



4. Hardware

4.1. Modular Architecture

Waspote is based on a modular architecture. The idea is to integrate only the modules needed in each device. These modules can be changed and expanded according to needs.

The modules available for integration in Waspote are categorized in:

- ZigBee/802.15.4 modules (2.4GHz, 868MHz, 900MHz). Low and high power.
- GSM/GPRS Module (Quadband: 850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz)
- 3G/GPRS Module (Tri-Band UMTS 2100/1900/900MHz and Quad-Band GSM/EDGE, 850/900/1800/1900 MHz)
- GPS Module
- Sensor Modules (Sensor boards)
- Storage Module: SD Memory Card

4.2. Specifications

- **Microcontroller:** ATmega1281
- **Frequency:** 14.7456 MHz
- **SRAM:** 8KB
- **EEPROM:** 4KB
- **FLASH:** 128KB
- **SD Card:** 2GB
- **Weight:** 20gr
- **Dimensions:** 73.5 x 51 x 13 mm
- **Temperature Range:** [-10°C, +65°C]

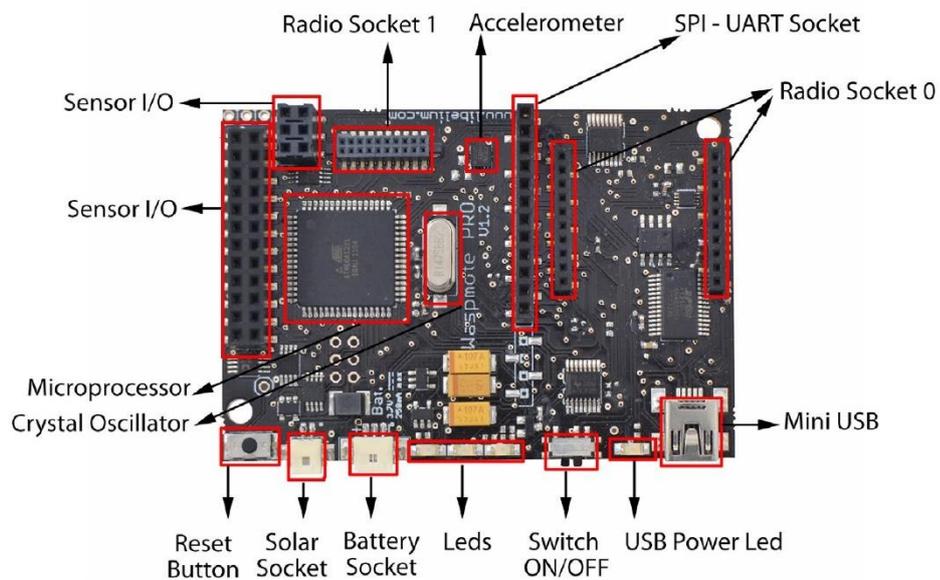


Figure 29: Main Waspote components – Top side

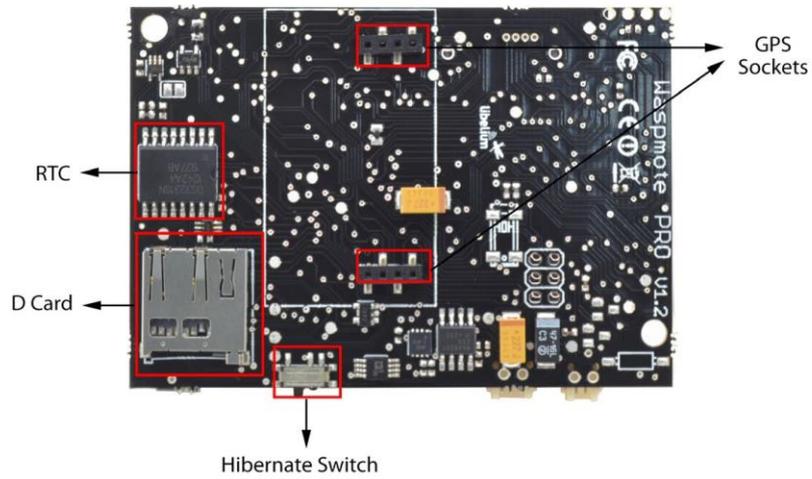


Figure 30: Main Waspote components – Bottom side

4.3. Block Diagram

Data signals:

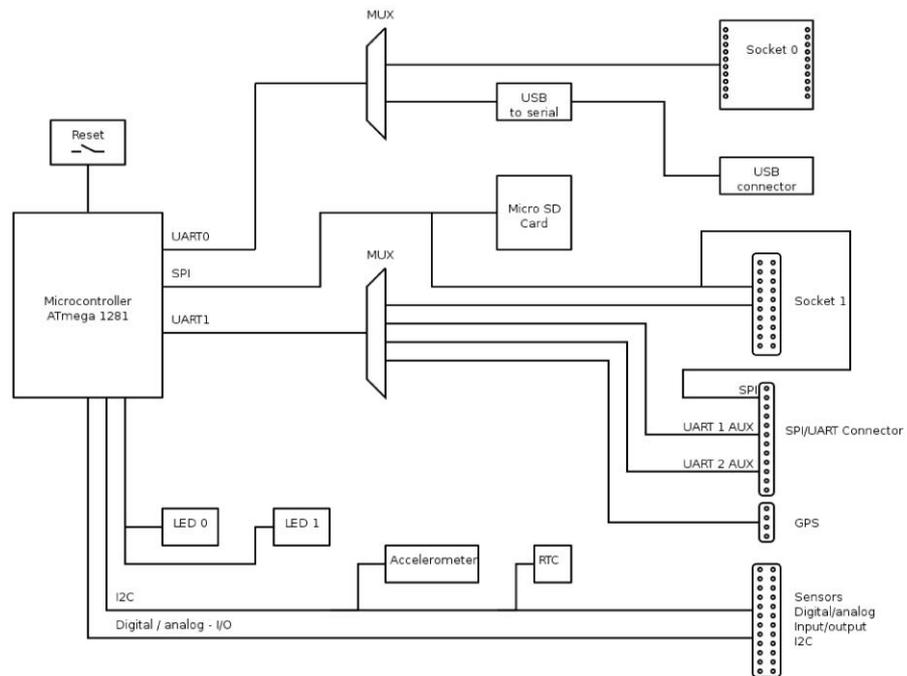


Figure 31: Waspote block diagrams – Data signals

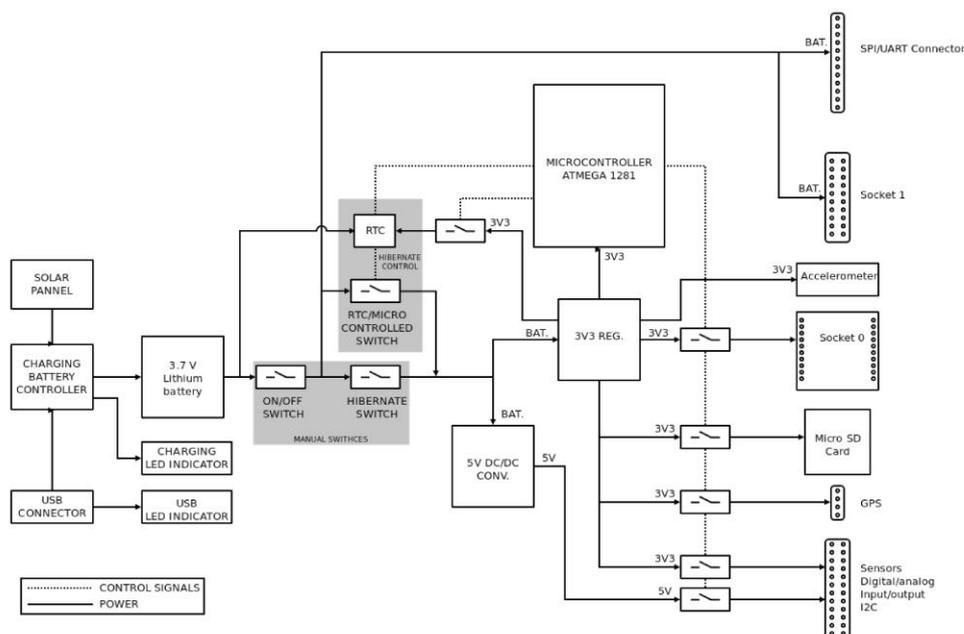
Power signals:


Figure 32: Waspmote block diagrams – Power signals

4.4. Electrical Data

Operational values:

- Minimum operational battery voltage 3.3 V
- Maximum operational battery voltage 4.2V
- USB charging voltage 5 V
- Solar panel charging voltage 6 - 12 V
- Battery charging current from USB 100 mA (max)
- Battery charging current from solar panel 280 mA (max)

Absolute maximum values:

- Voltage in any pin [-0.5 V, +3.8 V]
- Maximum current from any digital I/O pin 40 mA
- USB power voltage 7V
- Solar panel power voltage 18V
- Charged battery voltage 4.2 V

4.5. I/O

Waspmote can communicate with other external devices through the using different **input/output** ports.

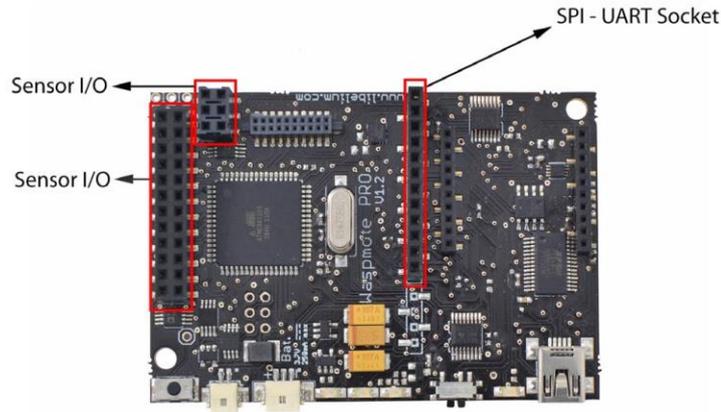


Figure 33: I/O connectors in Waspote

Sensor connector:



Figure 34: Description of sensor connector pins

Auxiliary SPI-UART connector:

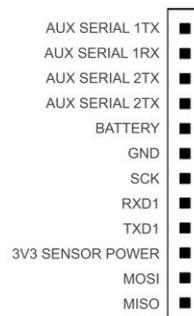


Figure 35: Description of auxiliary SPI-UART connector pins

4.5.1. Analog

WaspMote has **7** accessible analog inputs in the sensor connector. Each input is directly connected to the microcontroller. The microcontroller uses a **10 bit** successive approximation analog to digital converter (**ADC**). The reference voltage value for the inputs is **0V** (GND). The maximum value of input voltage is **3.3V** which corresponds with the microcontroller's general power voltage.

To obtain input values, the function `analogRead(analog_input)` is used, the function's input parameter will be the name of the input to be read "ANALOG1, ANALOG2..." (see sensor connector figure). The value obtained from this function will be an integer number between **0 and 1023**, 0 corresponds to 0V and 1023 to 3.3V.

The analog input pins can also be used as digital input/output pins. If these pins are going to be used as digital ones, the following correspondence list for pin names must be taken into account:

Analog pin		Digital pin
ANALOG1	=>	14
ANALOG2	=>	15
ANALOG3	=>	16
ANALOG4	=>	17
ANALOG5	=>	18
ANALOG6	=>	19
ANALOG7	=>	20

```
{
  val = analogRead(ANALOG1);
}
```

4.5.2. Digital

WaspMote has digital pins which can be configured as **input or output** depending on the needs of the application. The voltage values corresponding to the different digital values would be:

- **0V** for logic 0
- **3.3V** for logic 1

The instructions for control of digital pins are:

```
{
  // set DIGITAL3 pin as input and read its value
  pinMode(DIGITAL3, INPUT);
  val = digitalRead(DIGITAL3);

  // set DIGITAL3 pin as output and set it LOW
  pinMode(DIGITAL3, OUTPUT);
  digitalWrite(DIGITAL3, LOW);
}
```

4.5.3. PWM

DIGITAL1 pin can also be used as output **PWM (Pulse Width Modulation)** with which an analog signal can be "simulated". It is actually a square wave between 0V and 3.3V for which the proportion of time when the signal is high can be changed (its working cycle) from 0% to 100%, simulating a voltage of 0V (0%) to 3.3V (100%). The resolution is **8 bit**, so up to 255 values between 0-100% can be configured. The instruction to control the PWM output is `analogWrite(DIGITAL1, value)`; where value is the analog value (0-255).

```
{
  analogWrite(DIGITAL1, 127);
}
```

Módulo OSD (CHIP MAX7456)



EVALUATION KIT AVAILABLE

MAX7456

Single-Channel Monochrome On-Screen Display with Integrated EEPROM

General Description

The MAX7456 single-channel monochrome on-screen display (OSD) generator lowers system cost by eliminating the need for an external video driver, sync separator, video switch, and EEPROM. The MAX7456 serves all national and international markets with 256 user-programmable characters in NTSC and PAL standards. The MAX7456 easily displays information such as company logo, custom graphics, time, and date with arbitrary characters and sizes. The MAX7456 is preloaded with 256 characters and pictographs and can be reprogrammed in-circuit using the SPI™ port.

The MAX7456 is available in a 28-pin TSSOP package and is fully specified over the extended (-40°C to +85°C) temperature range.

Applications

- Security Switching Systems
- Security Cameras
- Industrial Applications
- In-Cabin Entertainment
- Consumer Electronics

Pin Configuration appears at end of data sheet.

SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Features

- ◆ 256 User-Defined Characters or Pictographs in Integrated EEPROM
- ◆ 12 x 18 Pixel Character Size
- ◆ Blinking, Inverse, and Background Control Character Attributes
- ◆ Selectable Brightness by Row
- ◆ Displays Up to 16 Rows x 30 Characters
- ◆ Sag Compensation On Video-Driver Output
- ◆ LOS, VSYNC, HSYNC, and Clock Outputs
- ◆ Internal Sync Generator
- ◆ NTSC and PAL Compatible
- ◆ SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ Delivered with Preprogrammed Character Set

Ordering Information

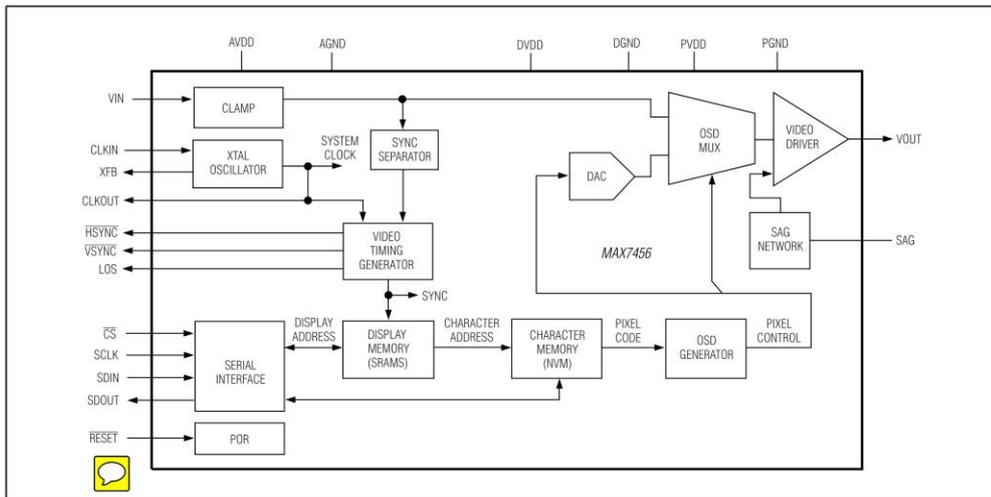
PART	PIN-PACKAGE	LANGUAGE
MAX7456EUI+	28 TSSOP-EP*	English/ Japanese

*EP = Exposed pad.

+Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

Note: This device is specified over the -40°C to +85°C operating temperature range.

Simplified Functional Diagram



For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maximintegrated.com.

19-0576; Rev 1; 8/08

MAX7456

Single-Channel Monochrome On-Screen Display with Integrated EEPROM

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

AVDD to AGND	-0.3V to +6V	CLKIN, CLKOUT, XFB to DGND	-0.3V to (V _{DVDD} + 0.3V)
DVDD to DGND	-0.3V to +6V	SDIN, SCLK, CS, SDOOUT to DGND.....	-0.3V to (V _{DVDD} + 0.3V)
PVDD to PGND	-0.3V to +6V	Maximum Continuous Current into V _{OJT}	±100mA
AGND to DGND.....	-0.3V to +0.3V	Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)	
AGND to PGND.....	-0.3V to +0.3V	28-Pin TSSOP (derate 27mW/°C above +70°C).....	2162mW*
DGND to PGND.....	-0.3V to +0.3V	Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
V _{IN} , V _{OUT} , S _{AG} to AGND.....	-0.3V to (V _{AVDD} + 0.3V)	Junction Temperature	+150°C
HSYNC, VSYNC, LOS to AGND	-0.3V to +6V	Storage Temperature Range	-60°C to +150°C
RESET to AGND	-0.3V to (V _{AVDD} + 0.3V)	Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C

*As per JEDEC51 Standard (Multilayer Board).

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{AVDD} = +4.75V to +5.25V, V_{DVDD} = +4.75V to +5.25V, V_{PVDD} = +4.75V to +5.25V, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}. Typical values are at V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = +5V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLIES						
Analog Supply Voltage	V _{AVDD}		4.75	5	5.25	V
Digital Supply Voltage	V _{DVDD}		4.75	5	5.25	V
Driver Supply Voltage	V _{PVDD}		4.75	5	5.25	V
Analog Supply Current	I _{AVDD}	V _{IN} = 1V _{P-P} (100% white flat field signal), V _{OUT} load, R _L = 150Ω		24	35	mA
Digital Supply Current	I _{DVDD}	V _{IN} = 1V _{P-P} (100% white flat field signal), V _{OUT} load, R _L = 150Ω		25	30	mA
Driver Supply Current	I _{PVDD}	V _{IN} = 1V _{P-P} (100% white flat field signal), V _{OUT} load, R _L = 150Ω		58	80	mA
NONVOLATILE MEMORY						
Data Retention		T _A = +25°C		100		Years
Endurance		T _A = +25°C		100,000		Stores
DIGITAL INPUTS (CS, SDIN, RESET, SCLK)						
Input High Voltage	V _{IH}		2.0			V
Input Low Voltage	V _{IL}				0.8	V
Input Hysteresis	V _{HYS}			50		mV
Input Leakage Current		V _{IN} = 0 or V _{DVDD}			±10	μA
Input Capacitance	C _{IN}			5		pF
DIGITAL OUTPUTS (SDOUT, CLKOUT, VSYNC, HSYNC, LOS)						
Output High Voltage	V _{OH}	I _{SOURCE} = 4mA (SDOUT, CLKOUT)	2.4			V
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{SINK} = 4mA			0.45	V
Tri-State Leakage Current		SDOUT, CS = V _{DVDD}			±10	μA



MAX7456

Single-Channel Monochrome On-Screen Display with Integrated EEPROM

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{AVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{DVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{PVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} . Typical values are at $V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CLOCK INPUT (CLKIN)						
Clock Frequency				27		MHz
Clock-Pulse High			14			ns
Clock-Pulse Low			14			ns
Input High Voltage			0.7 x V_{DVDD}			V
Input Low Voltage					0.3 x V_{DVDD}	V
Input Leakage Current		$V_{IN} = 0V$ or V_{DVDD}			±50	µA
CLOCK OUTPUT (CLKOUT)						
Duty Cycle		5pF and 10kΩ to DGND	40	50	60	%
Rise Time		5pF and 10kΩ to DGND		3		ns
Fall Time		5pF and 10kΩ to DGND		3		ns
VIDEO CHARACTERISTICS						
DC Power-Supply Rejection		$V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = 5V$; $V_{IN} = 1V_{P-P}$, measured at VOUT		40		dB
AC Power-Supply Rejection		$V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = 5V$; $V_{IN} = 1V_{P-P}$, measured at VOUT; $f = 5MHz$; power-supply ripple = 0.2V _{P-P}		30		dB
Short-Circuit Current		VOUT to PGND			230	mA
Line-Time Distortion	LTD	Figures 1a, 1b			0.5	%
Output Impedance	Z _{OUT}	Figures 1a, 1b		0.2		Ω
Gain		Figures 1a, 1b	1.89	2.0	2.11	V/V
Black Level		At VOUT, Figures 1a, 1b			AGND + 1.5	V
Input-Voltage Operating Range	V_{IN}	Figures 1a, 3 (Note 2)	0.5		1.2	V _{P-P}
Input-Voltage Sync Detection Range	V_{INSD}	Figures 1a, 3 (Note 3)	0.5		2.0	V _{P-P}
Maximum Output-Voltage Swing	V _{OUT}	Figures 1a, 1b	2.4			V _{P-P}
Output-Voltage Sync Tip Level				0.7		V
Large Signal Bandwidth (0.2dB)	BW	$V_{OUT} = 2V_{P-P}$, Figures 1a, 1b		6		MHz
VIN to VOUT Delay				30		ns
Differential Gain	DG			0.5		%
Differential Phase	DP			0.5		Degrees
OSD White Level		VOUT 100% white level with respect to black level	1.25	1.33	1.45	V
Horizontal Pixel Jitter		Between consecutive horizontal lines		24		ns
Video Clamp Settling Time				32		Lines



MAX7456

Single-Channel Monochrome On-Screen Display with Integrated EEPROM

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{AVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{DVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{PVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} . Typical values are at $V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OSD CHARACTERISTICS						
OSD Rise Time		OSD insertion mux register OSDM[5,4,3] = 011b		60		ns
OSD Fall Time		OSD insertion mux register OSDM[5,4,3] = 011b		60		ns
OSD Insertion Mux Switch Time		OSD insertion mux register OSDM[2,1,0] = 011b		75		ns

TIMING CHARACTERISTICS

($V_{AVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{DVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{PVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} . Typical values are at $V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SPI TIMING						
SCLK Period	t_{CP}		100			ns
SCLK Pulse-Width High	t_{CH}		40			ns
SCLK Pulse-Width Low	t_{CL}		40			ns
\overline{CS} Fall to SCLK Rise Setup	t_{CSS0}		30			ns
\overline{CS} Fall After SCLK Rise Hold	t_{CSH0}		0			ns
\overline{CS} Rise to SCLK Setup	t_{CSS1}		30			ns
\overline{CS} Rise After SCLK Hold	t_{CSH1}		0			ns
\overline{CS} Pulse-Width High	t_{CSW}		100			ns
SDIN to SCLK Setup	t_{DS}		30			ns
SDIN to SCLK Hold	t_{DH}		0			ns
SDOUT Valid Before SCLK	t_{DO1}	20pF to ground	25			ns
SDOUT Valid After SCLK	t_{DO2}	20pF to ground	0			ns
\overline{CS} High to SDOUT High Impedance	t_{DO3}	20pF to ground	300			ns
\overline{CS} Low to SDOUT Logic Level	t_{DO4}	20pF to ground	20			ns
HSYNC, VSYNC, AND LOS TIMING						
LOS, \overline{VSYNC} , and \overline{HSYNC} Valid before CLKOUT Rising Edge	t_{DOV}	20pF to ground		30		ns
VOUT Sync to \overline{VSYNC} Falling Edge Delay	$t_{VOUT-VSF}$	NTSC external sync mode, Figure 4 PAL external sync mode, Figure 6		375 400		ns



MAX7456

Single-Channel Monochrome On-Screen Display with Integrated EEPROM

TIMING CHARACTERISTICS (continued)

($V_{AVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{DVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $V_{PVDD} = +4.75V$ to $+5.25V$, $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} . Typical values are at $V_{AVDD} = V_{DVDD} = V_{PVDD} = +5V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
VOUT Sync to \overline{VSYNC} Rising Edge Delay	$t_{VOUT-VSR}$	NTSC external sync mode, Figure 4		400		ns
		PAL external sync mode, Figure 6		425		
\overline{VSYNC} Falling Edge to VOUT Sync Delay	$t_{VSF-VOUT}$	NTSC internal sync mode, Figure 5		40		ns
		PAL internal sync mode, Figure 7		45		
\overline{VSYNC} Rising Edge to VOUT Sync Delay	$t_{VSR-VOUT}$	NTSC internal sync mode, Figure 5		32		ns
		PAL internal sync mode, Figure 7		30		
VOUT Sync to \overline{HSYNC} Falling Edge Delay	$t_{VOUT-HSF}$	NTSC and PAL external sync mode, Figure 8		310		ns
VOUT Sync to \overline{HSYNC} Rising Edge Delay	$t_{VOUT-HSR}$	NTSC and PAL external sync mode, Figure 8		325		ns
\overline{HSYNC} Falling Edge to VOUT Sync Delay	$t_{HSF-VOUT}$	NTSC and PAL internal sync mode, Figure 9		115		ns
\overline{HSYNC} Rising Edge to VOUT Sync Delay	$t_{HSR-VOUT}$	NTSC and PAL internal sync mode, Figure 9		115		ns
All Supplies High to \overline{CS} Low	t_{PUD}	Power-up delay		50		ms
NVM Write Busy	t_{NWW}			12		ms

Note 1: See the standard test circuits of Figure 1. $R_L = 75\Omega$, unless otherwise specified. All digital input signals are timed from a voltage level of $(V_{IH} + V_{IL}) / 2$. All parameters are tested at $T_A = +85^\circ C$ and values through temperature range are guaranteed by design.

Note 2: The input-voltage operating range is the input range over which the output signal parameters are guaranteed (Figure 3).

Note 3: The input-voltage sync detection range is the input composite video range over which an input sync signal is properly detected and the OSD signal appears at VOUT. However, the output voltage specifications are not guaranteed for input signals exceeding the maximum specified in the input operating voltage range (Figure 3).

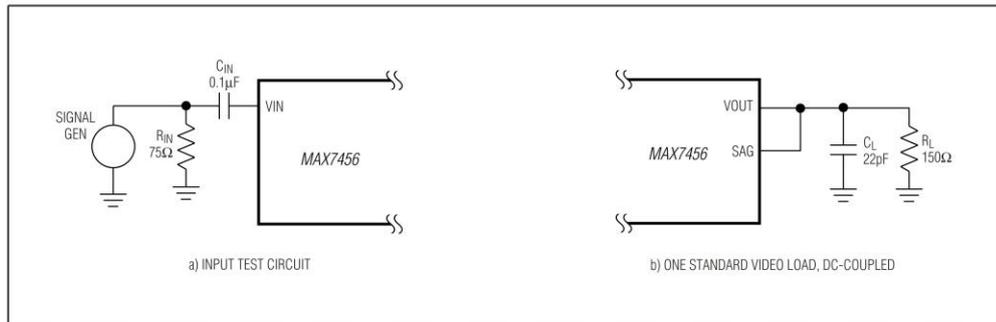
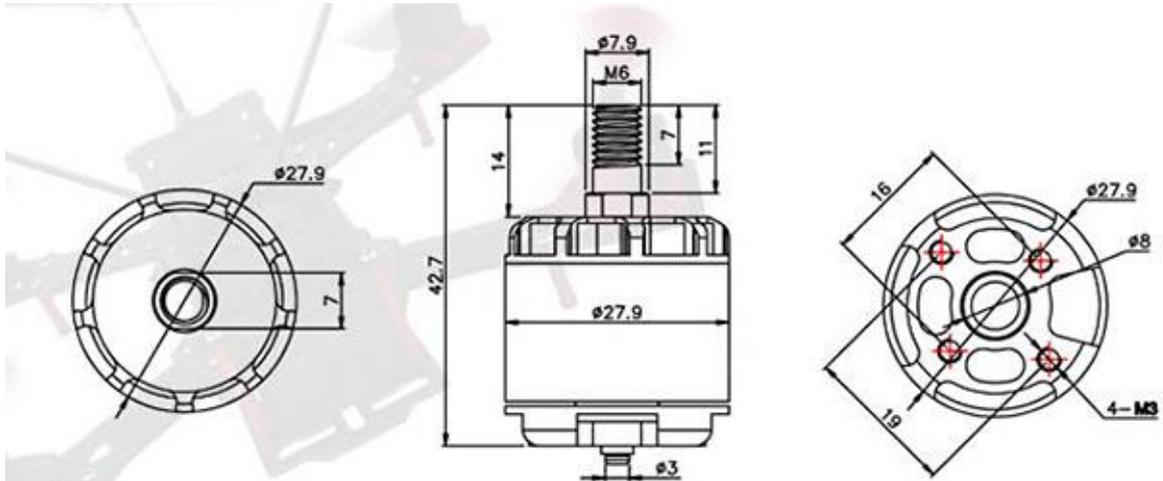


Figure 1. Standard Test Circuits



Motores Brushless Emax MT2216 – 810KV



Framework: 12N14P

KV: 810KV

Length: 42.7MM

Diameter: 27.9MM

No. of cells: 3-4S

Max. thrust: 950g

Shaft: 3MM

Propeller: 8"-10"

weight: 63g

Motor type	The voltage (V)	propeller size	current (A)	thrust (G)	power (W)	efficiency (G/W)	speed (RPM)
MT2216 II - 810KV	11.1	EMAX8045	6.6	480	73.3	6.5	7440
		DJI9450	7.9	600	87.7	6.8	7200
		EMAX1045	9.8	670	108.8	6.2	6620
	14.8	EMAX8045	10.5	760	155.4	4.9	9320
		DJI9450	11.8	910	174.6	5.2	8020
		EMAX1045	14.6	950	216.1	4.4	7890

Sensor PIR HC-SR501

HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR

Product Discription

HC-SR501 is based on infrared technology, automatic control module, using Germany imported LHI778 probe design, high sensitivity, high reliability, ultra-low-voltage operating mode, widely used in various auto-sensing electrical equipment, especially for battery-powered automatic controlled products.

Specification:

- Voltage: 5V – 20V
- Power Consumption: 65mA
- TTL output: 3.3V, 0V
- Delay time: Adjustable (.3->5min)
- Lock time: 0.2 sec
- Trigger methods: L – disable repeat trigger, H enable repeat trigger
- Sensing range: less than 120 degree, within 7 meters
- Temperature: – 15 ~ +70
- Dimension: 32*24 mm, distance between screw 28mm, M2, Lens dimension in diameter: 23mm

Application:

Automatically sensing light for Floor, bathroom, basement, porch, warehouse, Garage, etc, ventilator, alarm, etc.

Features:

- Automatic induction: to enter the sensing range of the output is high, the person leaves the sensing range of the automatic delay off high, output low.
- Photosensitive control (optional, not factory-set) can be set photosensitive control, day or light intensity without induction.
- Temperature compensation (optional, factory reset): In the summer when the ambient temperature rises to 30 ° C to 32 ° C, the detection distance is slightly shorter, temperature compensation can be used for performance compensation.
- Triggered in two ways: (jumper selectable)
 - non-repeatable trigger: the sensor output high, the delay time is over, the output is automatically changed from high level to low level;
 - repeatable trigger: the sensor output high, the delay period, if there is human activity in its sensing range, the output will always remain high until the people left after the delay will be high level goes low (sensor module detects a time delay period will be automatically extended every human activity, and the starting point for the delay time to the last event of the time).
- With induction blocking time (the default setting: 2.5s blocked time): sensor module after each sensor output (high into low), followed by a blockade set period of time, during this time period sensor does not accept any sensor signal. This feature can be achieved sensor output time "and" blocking time "interval between the work can be applied to interval detection products: This function can inhibit a variety of interference in the process of load switching. (This time can be set at zero seconds – a few tens of seconds).
- Wide operating voltage range: default voltage DC4.5V-20V.
- Micropower consumption: static current <50 microamps, particularly suitable for battery-powered automatic control products.
- Output high signal: easy to achieve docking with the various types of circuit.

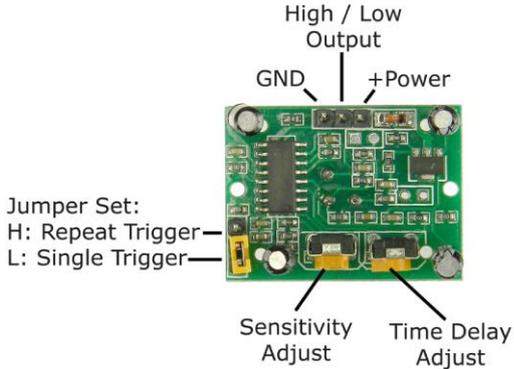
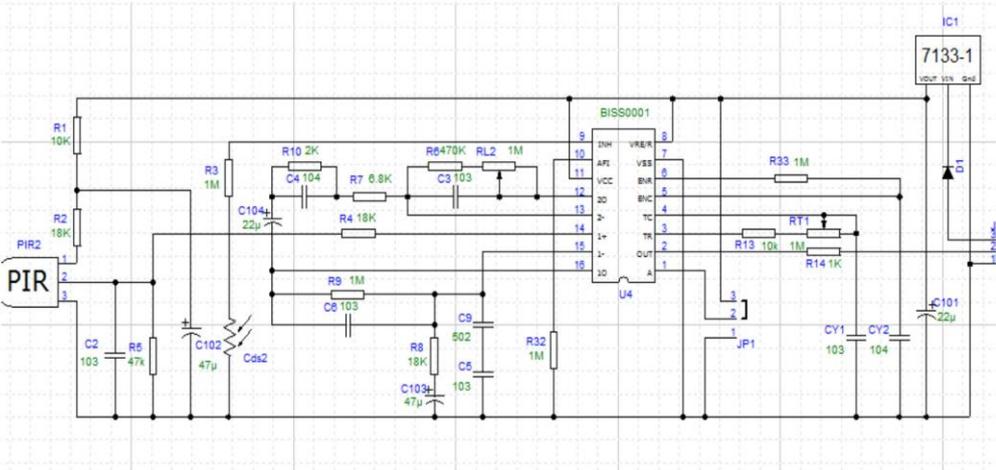
Adjustment:

- Adjust the distance potentiometer clockwise rotation, increased sensing distance (about 7 meters), on the contrary, the sensing distance decreases (about 3 meters).
- Adjust the delay potentiometer clockwise rotation sensor the delay lengthened (300S), on the contrary, shorten the induction delay (5S).

Instructions for use:

- Sensor module is powered up after a minute, in this initialization time intervals during this module will output 0-3 times, a minute later enters the standby state.
- Should try to avoid the lights and other sources of interference close direct module surface of the lens, in order to avoid the introduction of interference signal malfunction; environment should avoid the wind flow, the wind will cause interference on the sensor.
- Sensor module with dual probe, the probe window is rectangular, dual (A B) in both ends of the longitudinal direction
 - so when the human body from left to right or right to left through the infrared spectrum to reach dual time, distance difference, the greater the difference, the more sensitive the sensor,
 - when the human body from the front to the probe or from top to bottom or from bottom to top on the direction traveled, double detects changes in the distance of less than infrared spectroscopy, no difference value the sensor insensitive or does not work;
- The dual direction of sensor should be installed parallel as far as possible in inline with human movement. In order to increase the sensor angle range, the module using a circular lens also makes the probe surrounded induction, but the left and right sides still up and down in both directions sensing range, sensitivity, still need to try to install the above requirements.

HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR



-
- 1 working voltage range :DC 4.5-20V
 - 2 Quiescent Current :50uA
 - 3 high output level 3.3 V / Low 0V
 4. Trigger L trigger can not be repeated / H repeated trigger
 5. circuit board dimensions :32 * 24 mm
 6. maximum 110 ° angle sensor
 7. 7 m maximum sensing distance

Product Type	HC--SR501 Body Sensor Module
Operating Voltage Range	5-20VDC
Quiescent Current	<50uA
Level output	High 3.3 V /Low 0V
Trigger	L can not be repeated trigger/H can be repeated trigger(Default repeated trigger)
Delay time	5-300S(adjustable) Range (approximately .3Sec -5Min)
Block time	2.5S(default)Can be made a range(0.xx to tens of seconds
Board Dimensions	32mm*24mm
Angle Sensor	<110 ° cone angle
Operation Temp.	-15-+70 degrees
Lens size sensor	Diameter:23mm(Default)

- Application scope
- Security products
 - Body induction toys
 - Body induction lamps
 - Industrial automation control etc

Pyroelectric infrared switch is a passive infrared switch which consists of BISS0001 ,pyroelectric infrared sensors and a few external components. It can open all kinds of equipments, including incandescent lamp, fluorescent lamp, intercom, automatic, electric fan, dryer and automatic washing machine, etc. It is widely used in enterprises, hotels, stores, and corridor and other sensitive area for automatical lamplight, lighting and alarm system.

Instructions

Induction module needs a minute or so to initialize. During initializing time, it will output 0-3 times. One minute later it comes into standby.

Keep the surface of the lens from close lighting source and wind, which will introduce interference.

Induction module has double -probe whose window is rectangle. The two sub-probe (A and B) is located at the two ends of rectangle. When human body r to right, or from right to left, Time for IR to reach to reach the two sub-probes differs.The lager the time difference is, the more sensitive this module is. Wh body moves face-to probe, or up to down, or down to up, there is no time difference. So it does not work. So instal the module in the direction in which mo activities behaves, to guarantee the induction of human by dual sub-probes. In order to increase the induction range, this module uses round lens which ce from all direction. However, induction from right or left is more sensitivity than from up or down.

Sensor flexo-resistivo 2.2"



FLEX SENSOR FS

Features

- Angle Displacement Measurement
- Bends and Flexes physically with motion device
- Possible Uses
 - Robotics
 - Gaming (Virtual Motion)
 - Medical Devices
 - Computer Peripherals
 - Musical Instruments
 - Physical Therapy
- Simple Construction
- Low Profile

Mechanical Specifications

- Life Cycle: >1 million
- Height: $\leq 0.43\text{mm}$ (0.017")
- Temperature Range: -35°C to $+80^{\circ}\text{C}$

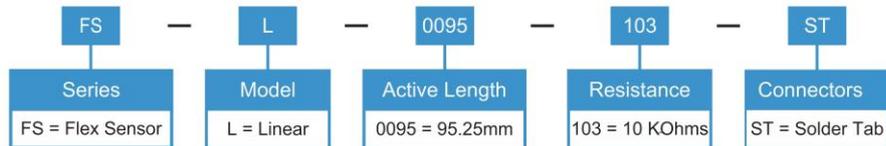
Electrical Specifications

- Flat Resistance: 10K Ohms $\pm 30\%$
- Bend Resistance: minimum 2 times greater than the flat resistance at 180° pinch bend (see "How it Works" below)
- Power Rating : 0.5 Watts continuous; 1 Watt Peak

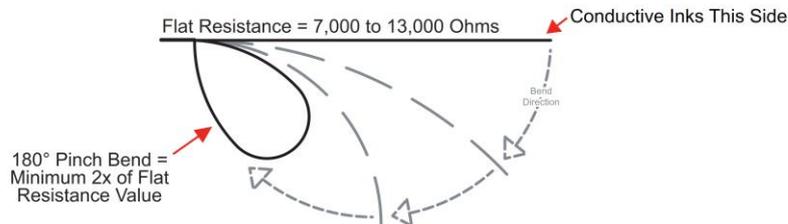
Dimensional Diagram - Stock Flex Sensor



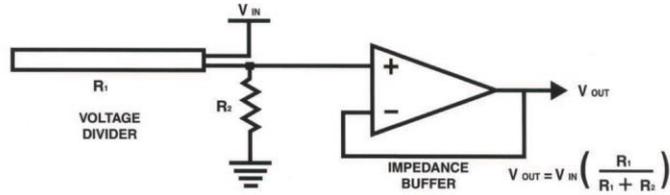
How to Order - Stock Flex Sensor



How It Works



BASIC FLEX SENSOR CIRCUIT:

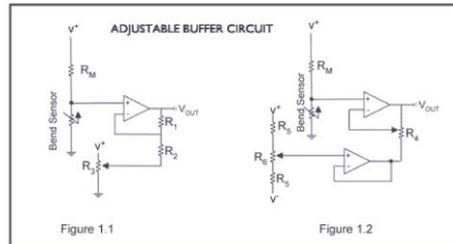


Following are notes from the ITP Flex Sensor Workshop

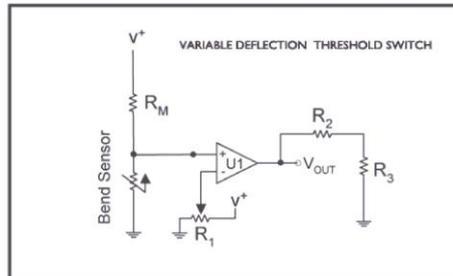
"The impedance buffer in the [Basic Flex Sensor Circuit] (above) is a single sided operational amplifier, used with these sensors because the low bias current of the op amp reduces error due to source impedance of the flex sensor as voltage divider. Suggested op amps are the LM358 or LM324."

"You can also test your flex sensor using the simplest circuit, and skip the op amp."

"Adjustable Buffer - a potentiometer can be added to the circuit to adjust the sensitivity range."



"Variable Deflection Threshold Switch - an op amp is used and outputs either high or low depending on the voltage of the inverting input. In this way you can use the flex sensor as a switch without going through a microcontroller."



"Resistance to Voltage Converter - use the sensor as the input of a resistance to voltage converter using a dual sided supply op-amp. A negative reference voltage will give a positive output. Should be used in situations when you want output at a low degree of bending."

