



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE EVASIÓN DE OBSTÁCULOS PARA UN
DRONE APLICADO A LA INSPECCIÓN EN REDES DE DISTRIBUCIÓN Y
TRANSMISIÓN PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”**

Trabajo de titulación
Tipo: Dispositivo tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

AUTOR: CARRASCO PAREDES ALEX JAVIER

TUTOR: Ing. JOSE ENRIQUE GUERRA

Riobamba – Ecuador
2018

©2018, Carrasco Paredes Alex Javier

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: “PROPUESTA DE UN SISTEMA DE EVASIÓN DE OBSTÁCULOS PARA UN DRONE APLICADO A LA INSPECCIÓN EN REDES DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”, de responsabilidad del señor ALEX JAVIER CARRASCO PAREDES ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Julio Santillán Castillo. VICEDECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Freddy Chávez Vásquez. DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	_____	_____
Ing. José Guerra Salazar. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Freddy Chávez Vásquez. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

“Yo, **ALEX JAVIER CARRASCO PAREDES**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Alex Javier Carrasco Paredes

180478562-2

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, por su apoyo incondicional brindando a lo largo de mi carrera y enseñarme a superarme cada día, a mi novia y mis hermanos que me impulsan a ser mejor persona.

Alex Carrasco

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a toda mi familia por ser mi ejemplo a seguir, a mi novia por ser una parte importante en mi vida, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que me abrió las puertas permitiéndome convertirme en profesional y a todos los profesores de la Facultad de Informática y Electrónica por transmitir sus conocimientos. Especialmente al Ingeniero José Guerra, Director del trabajo de Titulación por toda la ayuda brindada en durante la realización de este proyecto.

Alex Carrasco

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
3D	Tres Dimensiones
A	Amperio
ASCII	American Standard Code Information Interchange
Cm	Centímetros
DC	Direct Current
EERSA	Empresa Eléctrica Riobamba S.A.
ESC	Electronic Speed Control
FPV	First Person View
G	Gramos
GPS	Sistema de posicionamiento global
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HMI	Interfaz Humano Maquina
IDE	Integrated Drive Electronics
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IP	Índice de protección
Kg	Kilo Gramo
Km	Kilometro
Km/h	Kilómetros/hora
Kv	Kilo voltios
LIDAR	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LiPo	Polímero de litio
M	Metro
mA	Mili Amperios
mAh	Mili Amperios hora
Mb	Megabyte
Min	Minuto
Mm	Milímetro
MW	Mili vatios
PCB	Printed Circuit Board
PID	Controlador Proporcional, Integral y Derivativo
PLA	Ácido Poli láctico
PWM	Pulse-Width Modulation
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio

RC	Radio Control
SPI	Serial Peripheral Interface
TFT	Thin Film Transistor
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus
Uv	Indicador de la intensidad de radiación ultravioleta
V	Voltios
VANTS	Vehículos Aéreos No Tripulados
VDC	Voltaje en Corriente Directa
W	Vatios

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
1. MARCO REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
1.1. Inspecciones a líneas eléctricas	4
1.2. Termografía en distribución eléctrica.....	6
1.3. Procedimiento de inspecciones de redes de distribución y transmisión en la empresa eléctrica Riobamba S.A.	7
1.3.1. <i>Inspección de redes eléctricas para diagnóstico y mantenimiento</i>	8
1.3.1.1. <i>Levantamiento de Información de campo</i>	8
1.3.1.2. <i>Análisis y tratamiento de la información de campo</i>	8
1.3.1.3. <i>Elaboración del programa de mantenimiento</i>	8
1.3.1.4. <i>Elaboración del informe final de mantenimiento</i>	9
1.4. Drones.....	9
1.4.1. <i>Drones Multirrotores</i>	9
1.4.1.1. <i>Partes de un dron multirotor</i>	10
1.5. Drones comerciales usados para inspecciones aéreas.....	11
1.5.1. <i>Análisis comparativo de drones comerciales industriales</i>	13
1.6. Sistemas de detección de obstáculos comerciales.....	14
1.6.1. <i>Análisis comparativo de drones comerciales industriales</i>	17
1.7. Proyectos de sistemas de detección de obstáculos realizados	17
1.8. Placas de desarrollo con microcontroladores.....	19
1.9. Sensores.....	20
1.9.1. <i>Análisis comparativo de sensores</i>	20

1.10.	Comunicación inalámbrica	21
1.10.1.	<i>Análisis comparativo de comunicaciones inalámbricas.....</i>	22

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	23
2.1.	Requerimientos del prototipo	23
2.2.	Consolidación general del prototipo	23
2.3.	Arquitectura de hardware del prototipo	24
2.4.	Diseño de las etapas de hardware del prototipo.....	25
2.4.1.	<i>Etapas de alimentación</i>	25
2.4.2.	<i>Etapas de obtención de datos</i>	25
2.4.3.	<i>Etapas de procesamiento.....</i>	26
2.4.4.	<i>Etapas de transmisión</i>	27
2.4.5.	<i>Etapas de recepción y visualización</i>	27
2.5.	Selección de componentes de hardware para la construcción del prototipo.....	28
2.5.1.	<i>Drone Multirroto GAUI 540h Hexacoptero</i>	28
2.5.2.	<i>Dispositivos de obtención de datos</i>	29
2.5.2.1.	<i>Sensor Lidar Lite V3.....</i>	29
2.5.2.2.	<i>Sensor Micro Lidar TFMini.....</i>	30
2.5.3.	<i>Dispositivos de procesamiento.....</i>	32
2.5.3.1.	<i>Arduino Mega.....</i>	32
2.5.3.2.	<i>Arduino Nano</i>	33
2.5.3.3.	<i>Raspberry Pi Zero</i>	34
2.5.4.	<i>Dispositivos de transmisión</i>	35
2.5.4.1.	<i>Transmisor y receptor Flysky FS-i6S</i>	35
2.5.4.2.	<i>Transmisor y receptor de video RC832.....</i>	36
2.5.4.3.	<i>Transceptores de radiofrecuencia HolyBro 915MHz.....</i>	37
2.5.4.4.	<i>Transmisores de radiofrecuencia NRF24l01.....</i>	38

2.5.5.	<i>Dispositivos de visualización</i>	39
2.5.5.1.	<i>Pantalla nextion 3.5 pulgadas</i>	39
2.5.5.2.	<i>Monitor receptor de video 5.8G</i>	40
2.5.6.	<i>Dispositivos adicionales</i>	40
2.5.6.1.	<i>Cámara HD Runcam2</i>	41
2.5.6.2.	<i>Sensor térmico AMG8833</i>	41
2.5.6.3.	<i>Estabilizador de cámara TAROT Gimbal TL3T02</i>	42
2.5.6.4.	<i>Micro servomotor TowerPro MG90S</i>	43
2.5.7.	<i>Dispositivos de alimentación</i>	43
2.5.7.1.	<i>Regulador de voltaje LM2596</i>	43
2.5.7.2.	<i>Batería LiPo</i>	44
2.6.	Diagrama de conexión para el procesador central	46
2.7.	Diagrama de conexión para de la placa controladora de vuelo	47
2.8.	Diagrama de conexión para el procesador esclavo	48
2.9.	Diagrama de conexión de la estación de monitoreo en tierra	49
2.10.	Diagrama de conexión para el sensor térmico	50
2.11.	Diseño de PCB	51
2.11.1.	<i>Placa del procesador central</i>	51
2.11.1.1.	<i>Fabricación de la placa PCB principal</i>	52
2.11.2.	<i>Placa para el procesador esclavo</i>	53
2.11.3.	<i>Placa para el monitoreo en tierra</i>	53
2.12.	Diseño estructural del prototipo	54
2.12.1.	<i>Caja central</i>	55
2.12.2.	<i>Contenedor de sensores</i>	55
2.12.3.	<i>Soporte del sensor Lidar</i>	56
2.12.3.1.	<i>Angulo de visión del sensor frontal</i>	56
2.13.	Construcción del prototipo	57
2.14.	Diseño de la protección estructural	58
2.14.1.	<i>Implementación de la protección estructural</i>	58

2.15.	Implementación de la estación de monitoreo en tierra	59
2.16.	Requerimiento de diseño para el software	59
2.17.	Arquitectura de software del dispositivo.....	60
2.17.1.	<i>Herramientas de software.....</i>	60
2.17.1.1.	<i>Software Arduino 1.8.1.....</i>	60
2.17.1.2.	<i>Software Nextion editor</i>	60
2.17.1.3.	<i>Software Raspbian.....</i>	61
2.17.1.4.	<i>Python.....</i>	61
2.17.2.	<i>Desarrollo del código para el sistema de detección y evasión de obstáculos.....</i>	61
2.17.3.	<i>Desarrollo del código para el procesador esclavo</i>	63
2.17.4.	<i>Desarrollo de la programación para la estación de monitoreo en tierra.....</i>	64
2.17.5.	<i>Creación de la interfaz visual de la estación de monitoreo en tierra.....</i>	65
2.17.6.	<i>Programación del sensor térmico en la Raspberry pi.....</i>	66

CAPITULO III

3.	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO.....	68
3.1.	Comprobación de medición para el sistema de evasión de obstáculos	68
3.1.1.	<i>Análisis de medición de distancia con el sensor Lidar Lite v3.....</i>	68
3.1.2.	<i>Análisis de medición de distancia con los sensores lidar TFMini.....</i>	70
3.2.	Prueba de regreso a casa del prototipo.....	72
3.3.	Prueba del sistema anticollisiones para detección de cables.....	74
3.4.	Prueba del sistema anticollisiones para detección lateral de obstáculos.....	75
3.5.	Prueba del rango de comunicación inalámbrica.....	76
3.6.	Prueba del sensor térmico AMG8833	80
3.7.	Prueba de peso y autonomía del prototipo	80
3.8.	Análisis de tiempo de carga de batería del prototipo	80
3.9.	Análisis de costos del prototipo	80

CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Comparación de características de los drones usados a nivel industrial.....	13
Tabla 2-1: Comparación de los sistemas de evasión de obstáculos comerciales.....	17
Tabla 3-1: Comparación de características Placas con microcontroladores.....	19
Tabla 4-1: Comparación de sensores	21
Tabla 5-1: Comparación de comunicaciones inalámbricas.....	21
Tabla 1-2: Principales características del drone Multirrotor GAUI 540h.....	28
Tabla 2-2: Características más importantes del sensor Lidar lite v3.....	29
Tabla 3-2: Características más importantes del sensor TFMini.....	31
Tabla 4-2: Principales características del Arduino Mega.....	33
Tabla 5-2: Principales características del Arduino Nano.....	34
Tabla 6-2: Principales características de Raspberry Pi Zero.....	35
Tabla 7-2: Características del transmisor y receptor Flysky.....	36
Tabla 8-2: Características del transmisor y receptor de video TS832.....	37
Tabla 9-2: Características del transmisor HolyBro.....	38
Tabla 10-2: Características del módulo transmisor de radiofrecuencia RF24101.....	39
Tabla 11-2: Características de la pantalla táctil Nextion.....	40
Tabla 12-2: Características Runcam2.....	41
Tabla 13-2: Características del sensor térmico AMG8833.....	42
Tabla 14-2: Ventajas y desventajas principales de las baterías LiPo.....	44
Tabla 15-2: Consumo de corriente de los dispositivos del prototipo.....	45
Tabla 16-2: Tabla de conexión de terminales y módulos.....	47
Tabla 17-2: Tabla de conexión de terminales del Arduino Nano.....	49
Tabla 18-2: Tabla de conexión de terminales de la estación de monitoreo.....	50
Tabla 19-2: Tabla de conexión de terminales del sensor térmico.....	51
Tabla 20-2: Características del prototipo.....	58
Tabla 1-3: Análisis comparativo de la medición de distancias con el sensor lidar lite.....	69
Tabla 2-3: Análisis comparativo de medición de distancias con los sensores TFMini.....	71
Tabla 3-3: Resultados de Pruebas del error del sistema anticollisiones.....	72
Tabla 4-3: Análisis comparativo de la función regreso a casa.....	73
Tabla 5-3: Análisis de detección de cables con el prototipo.....	74
Tabla 6-3: Análisis de detección de obstáculos laterales con el prototipo.....	76
Tabla 7-3: Análisis del rango de comunicación inalámbrica del prototipo.....	77
Tabla 8-3: Análisis comparativo de la medición de temperatura.....	78

Tabla 9-3: Peso del prototipo.....	78
Tabla 10-3: Análisis de autonomía y peso adicional óptimo del prototipo.....	79
Tabla 11-3: Registro de tiempo de carga de batería	79
Tabla 12-3: Análisis de costo del prototipo.....	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Inspección de redes eléctricas mediante un helicóptero	5
Figura 2-1: Imagen térmica e imagen real de una torre de alta tensión	5
Figura 3-1: Termograma de un transformador.....	6
Figura 4-1: Transformador montado en un poste	6
Figura 5-1: Interruptor en una subestación	7
Figura 6-1: Termo gramas de la red eléctrica	7
Figura 7-1: Diferentes configuraciones de un drone multirrotor	10
Figura 8-1: Partes de un drone multirrotor.....	10
Figura 9-1: Drone matrcie 210 de DJI.....	12
Figura 10-1: Multirrotor G4	12
Figura 11-1: Drone S900 de la empresa DJI.....	13
Figura 12-1: Sensor pensar de la empresa Aerialtronics	15
Figura 13-1: Sistema Dji guidance	15
Figura 14-1: Sistema S.L.A.M. dunk de la empresa Parrot	16
Figura 15-1: Escaner TeraRanger Tower.....	16
Figura 1-2: Consolidación general del prototipo	24
Figura 2-2: Arquitectura de <i>hardware</i> del prototipo	25
Figura 3-2: Diagrama de bloques de la etapa de obtención de datos.....	26
Figura 4-2: Diagrama de bloques de la etapa de procesamiento	26
Figura 5-2: Diagrama de bloques de la etapa de transmisión	27
Figura 6-2: Diagrama de bloques de la etapa de recepción y visualización	27
Figura 7-2: Drone Multirrotor GAUI 540h	28
Figura 8-2: Sensor Lidar lite v3.....	29
Figura 9-2: Funcionamiento del sensor Lidar Lite v3.....	30
Figura 10-2: Sensor Mini Lidar TFMini	30
Figura 11-2: Funcionamiento del sensor TFMini	31
Figura 12-2: Graficas generadas por el sensor TFMini	32
Figura 13-2: Arduino mega	32
Figura 14-2: Arduino nano	33
Figura 15-2: Raspberry Pi Zero	34
Figura 16-2: Transmisor y receptor Flysky FS-i6S	36
Figura 17-2: Transmisor y receptor de video RC832.....	36
Figura 18-2: Transmisor y receptor HolyBro.....	37

Figura 19-2: Transmisor NRF24101	38
Figura 20-2: Pantalla táctil Nextion de 3.5 pulgadas	39
Figura 21-2: Monitor receptor de video 5.8G	40
Figura 22-2: Runcam2.....	41
Figura 23-2: Sensor AMG8833.....	42
Figura 24-2: Tarot gimbal.....	42
Figura 25-2: Servomotor MG90S.....	43
Figura 26-2: Regulador de voltaje LM2596.....	43
Figura 27-2: Batería LiPo Turnigy Graphene 4S.....	45
Figura 28-2: Diagrama de conexiones del procesador central.....	46
Figura 29-2: Diagrama de conexiones de la placa controladora de vuelo.....	48
Figura 30-2: Diagrama de conexiones del procesador esclavo	48
Figura 31-2: Diagrama de conexiones de la estación de monitoreo en tierra.....	49
Figura 32-2: Diagrama de conexiones para la Raspberry pi y el sensor térmico.....	50
Figura 33-2: A) Placa PCB diseñada en proteus. B) Vista en 3D de la placa.....	52
Figura 34-2: Revelado de la placa.....	52
Figura 35-2: Placa después del atacado químico con cloruro férrico	53
Figura 36-2: Placa con la máscara antisolder y con todos los componentes soldados.....	53
Figura 37-2: Placa del Arduino nano esclavo terminada	53
Figura 38-2: Placa de monitoreo en tierra terminada	54
Figura 39-2: Diseño en 3D del prototipo de detección de obstáculos	54
Figura 40-2: Diseño 3D de la caja central	55
Figura 41-2: Diseño 3D del contenedor para los sensores	55
Figura 42-2: Diseño 3D del soporte del sensor Lidar	56
Figura 43-2: Vista del ángulo de visión del sensor frontal	56
Figura 44-2: Impresión 3D de las piezas	57
Figura 45-2: Prototipo terminado.....	57
Figura 46-2: Diseño 3D de la protección estructural para las hélices	58
Figura 47-2: Construcción de la protección estructural para las hélices	59
Figura 48-2: Estación de monitoreo en tierra terminada	59
Figura 49-2: Diagrama de flujo para el sistema de detección y evasión de obstáculos	62
Figura 50-2: Diagrama de flujo para el Arduino nano esclavo	63
Figura 51-2: Diagrama de flujo para la estación de monitoreo	65
Figura 52-2: Ventana de herramientas y gráficos	66
Figura 53-2: A) Pantalla principal. B) Pantalla de configuración	66
Figura 54-2: Matriz de valores de temperatura	67

Figura 55-2: Imagen térmica generada por el sensor AMG8833	67
Figura 1-3: Prototipo implementado	68
Figura 2-3: Toma de muestras del sensor Lidar lite	69
Figura 3-3: Recopilación de datos con los sensores TFMini.....	70
Figura 4-3: Desarrollo de pruebas de return to home.....	73
Figura 5-3: Proceso de prueba de detección de cables	74
Figura 6-3: Proceso de prueba de detección lateral de obstáculos	75
Figura 7-3: Desarrollo de prueba comunicación inalámbrica	76
Figura 8-3: Desarrollo de la prueba para el sensor térmico.....	78
Figura 9-3: Desarrollo de pruebas de peso y autonomía	79

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se centró en la construcción de un sistema de evasión de obstáculos para un dron dedicado a la inspección en redes de distribución y transmisión para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., debido a que cada elemento de la red eléctrica es propenso a sufrir defectos que pueden conllevar pérdidas energéticas o riesgos de seguridad mayores. Por lo tanto, es conveniente realizar inspecciones que permitan captar imágenes visuales y termográficas de los elementos de la red, sin embargo, este proceso es peligroso y costoso por la seguridad que demanda. Con la finalidad de sustituir el proceso de inspección tradicional para captar imágenes a lo alto de forma segura y económica. Previo a la construcción del prototipo se estudió el proceso de inspección de redes eléctricas de distribución y transmisión. La implementación del sistema se basa en tres sensores Lidar y un procesador maestro para la detección de obstáculos que se comunica con el procesador esclavo que se encarga de la evasión; la estación en tierra posee tres pantallas para: FPV, monitoreo de obstáculos e imágenes termografías. El prototipo incorpora un sistema de detección y evasión de obstáculos capaz de detectar cables eléctricos que facilita la maniobrabilidad que mejoraren la seguridad del dron y el personal, además incorpora un sistema de comunicación inalámbrica que garantiza el control y visualización de datos e imágenes en tierra. Las pruebas dieron como resultados: un rango 0.60m hasta 3.6m para detección cables y 0.5m hasta 2m para detección lateral, 150m como distancia máxima óptima de comunicación entre el prototipo y la estación en tierra, con una autonomía de vuelo de 12 minutos y un peso máximo de 3.6 kg. Se recomienda para trabajos futuros aumentar el ángulo de visión y emplear algoritmos de visión artificial que incorpore funciones de mapeo 3D.

PALABRAS CLAVE: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, <ROBÓTICA>, <INSPECCIONES A LÍNEAS ELÉCTRICAS>, <MULTIROTOR >, <SENSOR LIDAR >, <DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS>, <EVASIÓN AUTÓNOMA>.

ABSTRACT

The research work centered in the construction of an evasion system of obstacles for a drone dedicated to the inspection in grids of distribution and transmission for Empresa Eléctrica Riobamba S.A, because each element of the electricity grids is prone to suffer defects that may lead to energetic losses or greater safety risks. Therefore, it is convenient to carry out inspections that allow capturing visual and thermographic images of the elements of the grid. However, this process is dangerous and expensive due to the security it demands. In order to replace the traditional inspection process to capture images on high safely and economically. Prior to the construction of the prototype, the process of inspection of electrical distribution and transmission grids was studied. The implementation of the system is based on three Lidar sensors and a master processor for obstacle detection that communicates with the slave processor that is responsible for the evasion; the ground station has three screens for: FPV, obstacle monitoring and thermo - graphic pictures. The prototype incorporates a system of detection and evasion of obstacles capable of detecting electric cables that facilitates maneuverability that improves the safety of the drone and staff. Also incorporates a wireless communication system that guarantees the control and visualization of data and images on the ground. The tests gave as results: a range 0.60m to 3.6m for cable detection and 0.5m to 2m for lateral detection, 150m as the maximum optimum communication distance between the prototype and the ground station, with a flight range of 12 minutes and a maximum weight of 3.6 kg. It is recommended for future work to increase the angle of vision and use artificial vision algorithms that incorporate 3D mapping functions.

KEYWORDS: <ELECTRONIC ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <ROBOTICS>, <INSPECTIONS TO ELECTRICAL LINES>, <MULTIROTOR LIDAR SENSOR >, <DETECTION OF OBSTACLES>, <AUTONOMOUS EVASION>.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico avanza a pasos agigantados, cada año la demanda de energía eléctrica aumenta. Para garantizar la cobertura de energía eléctrica, esta pasa por 3 etapas: generación, transmisión y distribución. Por lo que toda la infraestructura eléctrica debe funcionar en perfecto estado. La red de distribución y transmisión es la parte del sistema de suministro constituida por los elementos necesarios para transportar la energía eléctrica hasta los puntos de consumo a través de grandes distancias. Están constituidas por elementos ubicados en alturas, alejados por seguridad del alcance de las personas, generalmente estas infraestructuras lineales se sitúan en entornos de difícil acceso terrestre. (Reinosa Delgado, 2015). Cada elemento de la red eléctrica está en riesgo de sufrir una serie de defectos que pueden conllevar pérdidas energéticas o riesgos de seguridad mayores. Por lo tanto, es conveniente revisar todos los elementos de la red eléctrica para prevenir cualquier problema. Existen dos maneras de inspeccionar las líneas eléctricas, una de ellas cuando los técnicos especializados suben a las torres de alta tensión con equipos de seguridad para captar fotografías a los elementos de la red y otra mediante helicópteros tripulados que captan imágenes visuales y termográficas de toda la infraestructura. (LUNAS, 2017). Las imágenes visuales sirven para detectar defectos o anomalías en los elementos de la red eléctrica como: apoyos, aisladores, conductores, herrajes y balizas. En cambio, las imágenes termográficas se utilizan para buscar puntos calientes asociados a un contacto inadecuado o a otro tipo de defecto que conviene analizar y no es perceptible en la imagen del espectro visible. (Reinosa Delgado, 2015). Es posible sustituir los costosos vuelos con helicópteros con el uso de drones para captar imágenes a lo alto de forma segura y económica evitando los trabajos en altura de los operarios, impidiendo situaciones de riesgo personal. (Antón, 2017).

En Chile la empresa transmisora Transelec ha implementado un nuevo estándar de inspección con drones para el mantenimiento en las redes de alta tensión, una tecnología más eficiente de realizar inspecciones aéreas. (Transelec, 2016). En Barcelona España, la empresa filial de Gas Natural Fenosa usa drones para revisar la infraestructura en redes eléctricas, ayudando a identificar de forma rápida y eficiente defectos en la red emitiendo un adecuado plan de mantenimientos concluyendo que el uso de drones aumenta un 20% la productividad y genera un ahorro de hasta 30%. (Gómez, 2017).

En el Ecuador actualmente se cuenta con el Sistema Nacional de Transmisión con un total de 900 kilómetros (km), de líneas eléctricas. Este sistema se complementa con 287 km de líneas de 230 kilovoltios (Kv), que van en paralelo sostenidas por torres metálicas de 30 metros. (Anon.,

2017). En la provincia de Chimborazo se encuentra la EERSA, la cual posee una línea de simple circuito de 69Kv con una longitud de 172,62 km. Las redes de medio voltaje de la EERSA trabajan a 13.8kv se distribuyen en: redes monofásicas con 3.189,53 km, redes bifásicas con 71,34 km y redes trifásicas con 640,07 km, dando un total de 3.900,94 km de redes eléctricas de medio voltaje. En cuanto al número de transformadores de distribución la EERSA cuenta con: 11.562 transformadores monofásicos, 743 transformadores trifásicos, dando un total de 12.305 transformadores de distribución. El número de beneficiarios de la EERSA son: 147.361 clientes de tipo residencial, 16.959 clientes de tipo comercial y 811 de tipo industrial, a este dato se le suma 3.212 clientes no clasificados, dándonos un total de 168.344 clientes regulados.

En vista a lo anteriormente planteado se ha identificado como problemática el peligroso y costoso proceso de inspecciones a la infraestructura eléctrica. En el Ecuador no se da mucha atención al uso de herramientas tecnológicas para mejorar estos procesos. El presente trabajo de titulación propone la inclusión de un dispositivo tecnológico en la EERSA. Se plantea la construcción de un drone equipado con un sistema de detección y evasión de obstáculos para realizar inspecciones en redes eléctricas de distribución y transmisión. Este sistema sirve como asistente de vuelo, acortando los tiempos y recursos que se empleaban en una inspección tradicional reduciendo en gran parte los peligros relacionados a la misma.

El **objetivo general** del trabajo de titulación es construir un sistema de evasión de obstáculos para un drone aplicado a la inspección aérea en redes de distribución y transmisión para la Empresa Eléctrica de Riobamba S.A.

Los **objetivos específicos** planteados para el desarrollo e implantación del este proyecto son:

- Investigar e identificar el proceso de inspección de redes eléctricas de distribución y transmisión en la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.
- Identificar los requerimientos de *hardware* y *software* necesarios para el sistema de detección y evasión de obstáculos que mejoraren la seguridad del drone al momento de realizar una inspección a la red eléctrica.
- Implementar un sistema de comunicación inalámbrica entre el drone y la estación de monitoreo en tierra que asegure el control del drone.
- Realizar pruebas del prototipo de drone terminado en función a los requerimientos analizados.

Para el desarrollo de esta investigación en el presente documento se detallan todas las actividades realizadas, en tres capítulos. En el Primer Capítulo se realiza una revisión documental, para adquirir información relacionada con el proceso de inspección de redes eléctricas, tecnologías existentes y datos del funcionamiento de los dispositivos utilizados. En el Segundo Capítulo se aborda el Marco Metodológico que incluye los requerimientos del proyecto y en base a las bibliografías analizadas, se identifica el proceso más adecuado para la implementación del prototipo. Finalmente, en el Tercer Capítulo mediante la técnica de experimentación se presenta los resultados de las pruebas realizadas en los dispositivos para verificar su funcionamiento. La técnica de observación, se emplea para comparar los datos obtenidos, en cada una de las pruebas. Y gracias a la estadística, se obtiene un análisis de los resultados en base a las pruebas. Por último, se detalla un estudio de costos de la construcción del prototipo además de las conclusiones y recomendaciones del trabajo de titulación.

CAPITULO I

1. MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

En este capítulo se analiza la importancia de las inspecciones eléctricas en redes de transmisión y distribución, se identifica los tipos de inspecciones. Posteriormente y en base a una revisión bibliográfica sobre la termografía en redes eléctricas, se examina acerca de los modelos de drones, sistemas de detección y evasión de obstáculos usados en la industria, además de los proyectos desarrollados sobre el tema.

1.1. Inspecciones a líneas eléctricas

Son el mecanismo por el cual se detectan anomalías o falencias en las redes de distribución y transmisión. Sirven como fuente de información primaria para conocer el estado de la red y la formulación de presupuestos en los mantenimientos predictivos y preventivos. (MEZA HERNÁNDEZ, 2014).

Existen diferentes tipos de inspecciones de líneas eléctricas, siendo las más relevantes las siguientes:

- **Inspección mayor**

Consiste en realizar una evaluación minuciosa en toda la línea de transmisión, además de estructuras, conductores y demás elementos que la conforman. En cada estructura se realiza una inspección visual, medición de la resistencia eléctrica, y pruebas eléctricas como mecánicas; así como factores externos: vandalismo, zonas de incendio o contaminación. (Boza *et al.*, 2003).

- **Inspección menor**

Es una actividad indispensable para prevenir anomalías causadas por terceros como cometas, grúas y vandalismo, a diferencia de la inspección mayor esta consiste en una inspección visual sin necesidad que el personal ascienda y se interrumpa el servicio energético. Por ser la inspección menos compleja se debe programar con una periodicidad mínima de dos veces por año. (MEZA HERNÁNDEZ, 2014).

- **Inspección aérea o patrullaje aéreo**

Esta requiere la asistencia de un helicóptero como se observa en la figura 1-1, con el cual se pueden recorrer las líneas en un menor tiempo detectando daños o fallas que reduzcan la eficiencia del sistema, asimismo facilita el acceso a terrenos remotos, irregulares y peligrosos. Sin embargo, por su elevado costo y peligro para los operadores no es común su empleo. (Benitez *et al.*, 2016).



Figura 1-1. Inspección de redes eléctricas mediante un helicóptero.

Fuente: <http://bit.ly/2JOgQgC>.

Mediante una inspección aérea también se realiza un barrido con el apoyo de un equipo termográfico que determinen la existencia de puntos calientes en las líneas de transmisión y los elementos de la red eléctrica para prevención de averías y mantenimiento predictivo. En la figura 2-1 se puede visualizar una imagen aérea de una termografía a una torre de alta tensión, mostrando el aumento de temperatura en los puntos de contacto que se pueden producir por varios factores (Benitez *et al.*, 2016), tales como: incremento en la resistencia en puntos de conexión, hilos rotos en conductor, corrosión por la unión de materiales, baja calidad, herraje de suspensión de conductor, empalmes de conductor, falla de refrigeración.

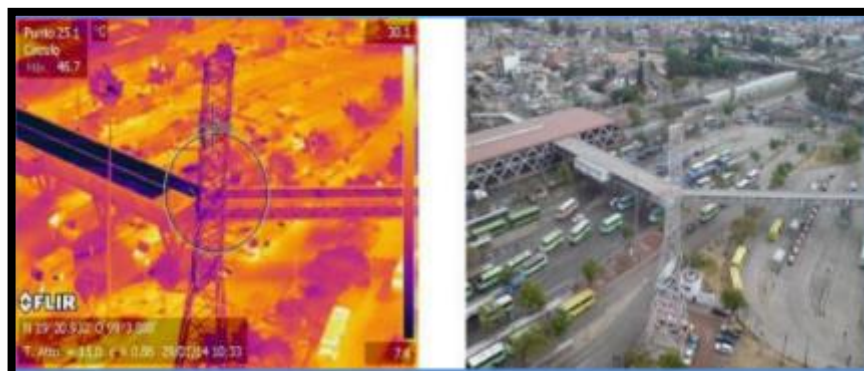


Figura 2-1. Imagen térmica e imagen real de una torre de alta tensión.

Fuente:(MEZA HERNÁNDEZ, 2014), Inspección aérea o patrullaje aéreo.

1.2. Termografía en distribución eléctrica

La termografía es una tecnología aplicada en sector energético para la detección de averías, que disminuye la probabilidad de fallos y cortes de suministro. Una toma termográfica permite visualizar patrones de temperatura en las líneas tanto de transmisión como distribución de energía eléctrica, para analizar así puntos calientes que presenten fallos sin embargo también se puede aplicar un estudio que detecte factores naturales que afecten directamente o indirectamente a las líneas y equipos. (Poyato, 2010).

En el termo grama de la figura 3-1, se muestra un transformador de servicio que presenta un incremento de temperatura en las bobinas de la parte superior debido a una avería del sistema de enfriamiento por fuga de aceite. (Fluke Corporation, 2017).

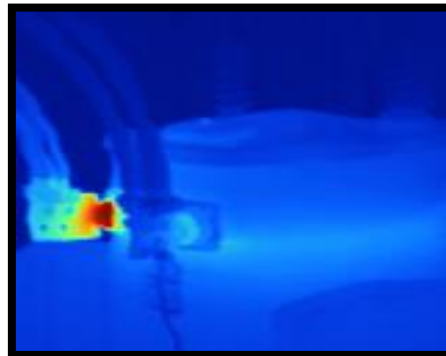


Figura 3-1. Termo grama de un transformador.

Fuente: (Fluke, 2017), Termografía en distribución eléctrica.

La toma termográfica de la figura 4-1, corresponde a un transformador de servicio montado en poste con una elevación de temperatura de 30 °C superior a la temperatura ambiente en una de sus conexiones. Este caso requiere de una evaluación para mantenimiento correctivo urgente. (Fluke Corporation, 2017).

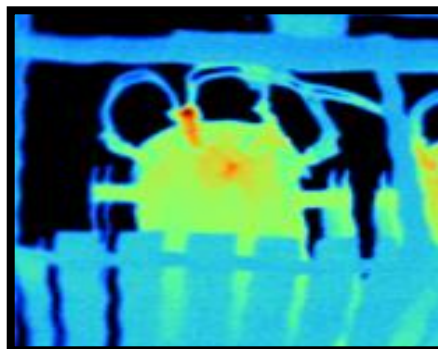


Figura 4-1. Transformador montado en un poste.

Fuente: (Fluke, 2017), Termografía en distribución eléctrica.

El termograma de la figura 5-1 se observa un interruptor de alta tensión en una subestación que se muestra un punto caliente que precisa de atención, ya que supera los 14 °C en comparación a la temperatura de los demás. (Fluke Corporation, 2017).

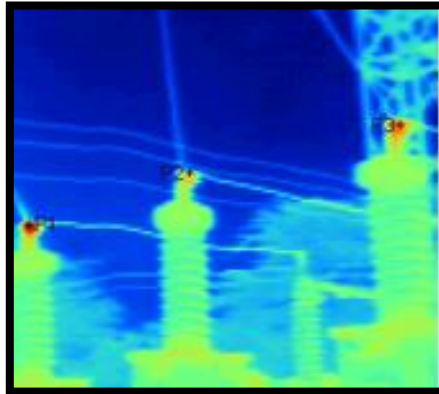


Figura 5-1. Interruptor en una subestación.

Fuente: (Fluke, 2017), Termografía en distribución eléctrica.

En la figura 6-1 se muestra un termograma, donde existe una conexión con una diferencia de temperatura superior en 10 °C a la temperatura ambiente, que se cataloga en un problema que requiere solución inmediata. (Fluke Corporation, 2017).

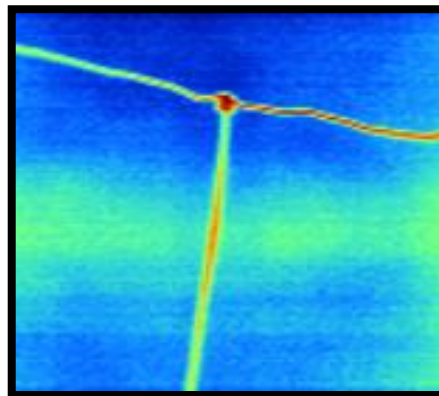


Figura 6-1. Termogramas de la red eléctrica.

Fuente: (Fluke, 2017), Termografía en distribución eléctrica

1.3. Procedimiento de inspecciones de redes de distribución y transmisión en la empresa eléctrica Riobamba S.A.

Se procede a definir los procedimientos necesarios para el óptimo desarrollo del Mantenimiento Preventivo, Predictivo y Correctivo para Redes Eléctricas de transmisión y distribución.

1.3.1. Inspección de redes eléctricas para diagnóstico de mantenimiento.

Comprende la realización de las siguientes actividades:

1.3.1.1. Levantamiento de Información de campo.

Comprende las siguientes actividades:

- Identificar las estructuras de acuerdo con la tipificación existente.
- Contrastar el diagrama unifilar de planos contra lo existente en el campo.
- Contar el número de estructurales reales.
- Identificación de detalles especiales como: Estado del terreno, cruce con otros circuitos, estructuras compartidas por redes de 480v a 13.8Kv, zonas críticas para limpieza de servidumbre, Identificación de peligros potenciales por árboles, cruce de vías, no indicadas en los planos, etc.
- Identificar y cuantificar las cantidades de obra a ejecutar en cada estructura, incluyendo el vano inmediatamente anterior.
- Elaborar señalética para labores que requieran modificación de ubicación de apoyos o cambios de ruta del circuito.
- Chequeo del estado de los vanos para identificar entre otros: Altura de la línea por debajo de lo normal, conductores distensionados, apoyos requeridos adicionales, etc.
- Actividades de mejoramiento para protección contra descargas atmosféricas.

1.3.1.2. Análisis y tratamiento de la información de campo.

Comprende la elaboración de los siguientes informes:

- Cantidades estimadas de obra a ejecutar.
- Elaboración del presupuesto estimado.
- Listado de materiales requeridos para mantenimiento.
- Elaboración de planos de reformas requeridas para el mantenimiento.

1.3.1.3. Elaboración del programa de mantenimiento.

Comprende las siguientes actividades:

- Elaborar el programa diario de mantenimiento.
- Elaborar el cronograma de actividades por día de mantenimiento.
- Elaborar el informe de producción diferida estimada.
- Identificar de las necesidades de personal, vehículos y comunicaciones.

1.3.1.4. Elaboración del informe final de mantenimiento.

- Planos actualizados del sistema levantado.
- Registro fotográfico del sistema levantado.
- Levantamiento de información de campo.
- Cuadro de costos por cantidades de obra.
- Listado de materiales a utilizar y finalmente utilizados.
- Pronóstico de costos de mantenimiento.
- Programa de ejecución de mantenimiento.
- Costos finales de mantenimiento.
- Aspectos técnicos y administrativos a mejorar.
- Relación de imprevistos que produjeron retraso en el desarrollo del mantenimiento.
- Conclusiones y recomendaciones.

1.4. Drones

Son robots que poseen la capacidad de volar y mantener su altura de manera constante, también se los conoce como vehículos aéreos no tripulados. Su popularidad se ha incrementado en los últimos años permitiéndoles incursionar en diversos campos de investigación, reemplazando aviones tripulados en tareas consideradas tediosas, peligrosas, o repetitivas.

1.4.1. Drones Multirotores

Un multirotor es una aeronave de ala rotatoria que posee tres o más rotores. Se clasifican en tricópteros, quadrópteros, hexápteros dependiendo del número de hélices y su configuración, como se muestra en la figura 4-1. Estos drones de ala rotativa generan sustentación a través de sus rotores, y al alternar sus hélices anulan las fuerzas generadas permitiéndolos despegar y aterrizar de forma vertical. (Santana, 2017).

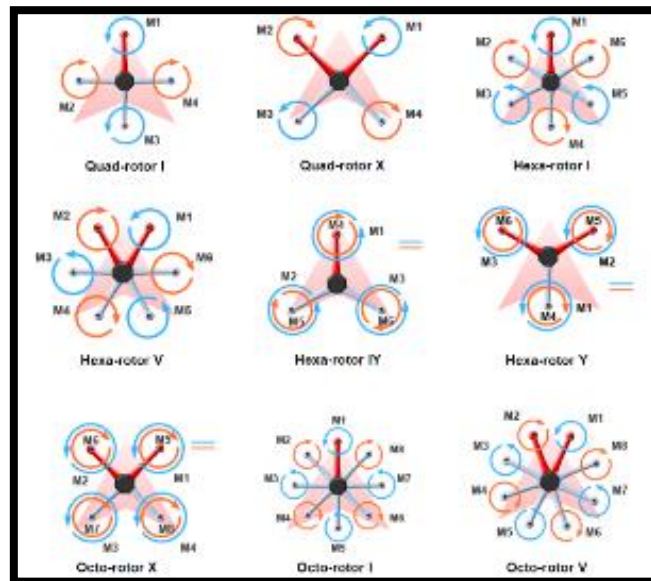


Figura 7-1. Diferentes configuraciones de un drone multirrotor.

Fuente: <http://bit.ly/2FAFPS8>

1.4.1.1. Partes de un drone multirrotor

La estabilidad lograda por un drone multirrotor se consigue gracias al equilibrio de fuerzas y peso, y a un elaborado sistema electrónico y mecánico compuesto por tecnología avanzada. (Santana, 2017). En la figura 5-1 se observan las partes que constituyen a estos equipos.



Figura 8-1. Partes de un drone multirrotor.

Realizado por: Alex Carrasco; 2018.

- **Marco (o Frame):** Es el cuerpo del multirrotor, la estructura que le da la forma y sobre la cual todas las otras partes se instalan y aseguran.

- **Motores, Hélices y ESCs:** Son los componentes fundamentales para mantener al multirrotor en el aire. Los ESC o Controladores de Velocidad Electrónicos regulan la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con agilidad y eficiencia.
- **Controlador de Vuelo:** Este componente es el cerebro del dron. Recibe información de los sensores como acelerómetro y giroscopio, permite el control del multirrotor y es a donde todos los componentes van conectados.
- **Radio Receptor:** Es el responsable de recibir la señal de radio enviada desde el control remoto, el cual ha interpretado el movimiento realizado por el usuario y lo ha transformado en onda radial. La señal de radio es recogida por el receptor del multirrotor y transformada en datos que se envían al controlador de vuelo para ejecutar las instrucciones.
- **Baterías:** Proporcionan la energía necesaria para hacer funcionar el equipo. Son componentes muy pesados. Generalmente se usan baterías LiPo debido a su gran capacidad de almacenar elevados amperajes, y a su baja tasa de descarga permite a los drones una autonomía de vuelo razonable.
- **GPS y Brújula:** Estos componentes conectados al controlador de vuelo permiten a conocer la ubicación, altitud y velocidad exactas del multirrotor.
- **Cámara y Estabilizador:** En la estructura del multirrotor se puede acoplar una cámara para aprovechar el vuelo y capturar fotos o videos desde el aire. Normalmente se utiliza un estabilizador o Gimbal, para evitar que los movimientos propios del vuelo del multirrotor afecten la toma. Estos Gimbal absorben la vibración de los motores y corrigen automáticamente la inclinación de la cámara.

1.5. Drones comerciales usados para inspecciones aéreas

En la actualidad se han desarrollado nuevos modelos comerciales de drones aplicables a distintas tareas en la industria, siendo una gran herramienta de trabajo al momento de realizar tomas de imágenes aéreas. A continuación, se detallan los principales modelos de drones usados en gran parte de tareas de ingeniería.

- **DJI Matrice 210**

Este modelo tiene opciones mejoradas como: batería dual, cámara FPV y la posibilidad de colocar dos cámaras adicionales de las disponibles por la empresa para adaptarlo al trabajo a realizar, se lo observa en la figura9-1. Posee grado de protección IP43 frente a polvo y agua, autonomía de vuelo de 38 minutos, cuenta con sensores anticolisión, en la parte delantera posee sensores visuales, en la parte superior sensores infrarrojos y en la parte inferior sensores ultrasónicos. (Runco S.A, 2017).



Figura 9-1. Drone Matrice 210 de DJI.

Fuente: <http://bit.ly/2HQRAWj>

- **Multirotor G4**

Es una plataforma de seis rotores que incorpora una cámara térmica para tomas aéreas en aplicaciones de inspección, fotografías georreferenciadas, modelos digitales de elevación y en tres dimensiones. También cuenta con un gimbal de tres ejes acoplado a un tren de aterrizaje plegable para permitir la visión sin obstrucciones desde cualquier ángulo como se observa en la figura10-1. (SCCS Survey, 2015).



Figura 10-1. Multirotor G4.

Fuente: <https://bit.ly/2RjGSwG>

- **DJI Spreading Wings S900**

El enfoque de este dron es la fotografía y cinematografía profesional, su diseño compacto e innovador lo hace fácil de trasladarlo y crear tomas increíbles sobre la marcha. Se lo observa en la figura 11-1. Cuenta con motores de alta velocidad, un chasis de fibra de carbono robusto y un sistema de distribución de energía totalmente nuevo, conexiones anti chispas que garantizan una calidad profesional. Su tren de aterrizaje retráctil y un soporte debajo del frame le brindan una amplia gama de ángulos de visión. (MULTICOPTERO, 2017).



Figura 11-1. Drone S900 de la empresa DJI.

Fuente: <http://bit.ly/2wdDAEG>

1.5.1. Análisis comparativo de drones comerciales industriales

En la Tabla 1-1 se realiza un análisis comparativo con las características principales de los modelos de drones comerciales usados en la industria, en cuanto a cualidades requeridas en las inspecciones eléctricas.

Tabla 1-1: Comparación de características de los drones usados a nivel industrial

CARACTERÍSTICAS	DJI Matrice 210	Multirotor G4	DJI Spreading Wings S900
Peso incluidas hélices y batería	4.57 Kg	9.5 Kg	3.3 Kg
Peso máximo de despegue	6.14 Kg	12 Kg	8.2 Kg
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 38 min	Aprox.20min	Aprox.18min
Velocidad máxima	82, 8 km/h	50 km/h	28.8 km/h
Sistema anticolisión	SI	NO	NO

CARACTERÍSTICAS	DJI Matrice 210	Multirotor G4	DJI Spreading Wings S900
Modo GPS	GPS/GLONASS	GPS L1	GPS/GLONASS
Batería	7660 mAh	12500 mAh	12000 mAh
Voltaje	22.8 V	14.8 V	22.2 V
Sensor detector de obstáculos	SI	SI	SI
Precio a nivel nacional	Apróx: \$ 7124,53	Apróx: \$ 13894,57	Apróx: \$ 4950

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

Se puede observar en la tabla 1-1 el drone Matrice 210 debido a sus prestaciones ofrece un mejor control de estabilidad, además cuenta con un sistema de detección y evasión de obstáculos propio que hace de este una gran herramienta para la inspección de infraestructura eléctrica, sus desventajas son el costo elevado en el equipo y sus complementos, además requiere cámaras específicas de la marca DJI.

1.6. Sistemas de detección de obstáculos comerciales

En la actualidad los drones son utilizados para labores de inspección en múltiples áreas, como en la industria, la agricultura, construcción y además en redes eléctricas. La gran desventaja de estos drones es su elevado costo, además no contar con un sistema de detección y evasión de obstáculos. Estos sistemas se los puede adquirir aparte y representan un costo adicional al drone. Los sistemas de detección y evasión de obstáculos comerciales pueden detectar objetos de un tamaño considerable, pero no tienen la capacidad de detectar los cables de transmisión y distribución en las redes eléctricas, esto representa un problema al momento de inspeccionarlas. Para inspeccionar las redes eléctricas el drone debe elevarse a grandes alturas, con lo cual la visibilidad del dispositivo no es muy buena, además al no tener percepción de profundidad se dificulta el pilotaje del drone por parte de los técnicos. Esto conlleva a un gran riesgo, si el drone llegase a colisionar un cable o una torre eléctrica, ocasionaría problemas a la red eléctrica y/o la destrucción del drone y su inversión en el mismo.

Entre los sistemas de detección de obstáculos montables en drones se encuentran los más destacados por sus características, como:

- *Pensar*

Este sistema de detección y evasión de obstáculos mediante visión artificial integra sensores infrarrojos gemelos independientes con un potente procesador de video en tiempo real NVIDIA,

y permite detectar obstáculos en un radio de hasta 15 metros y ejecutar la maniobra necesaria para evitar colisionar con ellos. (Schoroth, 2017). Esto ayuda en la inspección de objetos, como torres de telecomunicaciones, de infraestructuras energéticas, edificios o puentes. La distancia de seguridad se puede ajustar hasta dos metros, el dron mantendrá esta distancia mientras realiza su trabajo, tanto si el obstáculo está quieto como en movimiento. Se lo observa en la figura12-1.



Figura 12-1. Sensor pensar de la empresa Aerialtronics.

Fuente: <http://bit.ly/2FE0Efl>

- *Dji guidance*

Es un sistema compacto de detección visual, que garantiza estabilidad de vuelo incluso a grandes velocidades gracias a sus algoritmos de visión estéreo avanzados. Cuenta con un núcleo de procesamiento, cámaras, y sensores ultrasónicos. Su funcionamiento se basa en una exploración del entorno constante y detección de obstáculos en tiempo real, y en conjunto con una controladora de vuelo DJI forman un sistema automático para evasión de obstáculos. (Heliboss, 2018). Se lo observa en la figura 13-1.



Figura 13-1. Sistema Dji guidance.

Fuente: <http://bit.ly/2JQbGkn>

- *Parrot S.L.A.M. dunk*

Es un kit de desarrollo para drones creado por la empresa Parrot como se observa en la figura 14-1. Facilita la navegación autónoma con evasión de obstáculos en interiores o zonas donde la georreferenciación no está operativa. Incluye sensores para mapeo 3D que facilitan la ubicación en entorno y el desplazamiento sin colisiones. (Heliboss, 2018).



Figura 14-1. Sistema S.L.A.M. dunk de la empresa Parrot.

Fuente: <http://bit.ly/2HKb1Tt>

- *TeraRanger*

Es un escáner multi-eje diseñado para usar en drones y vehículos de movimiento rápido, usa ocho sensores de distancia pequeños, rápidos y liviano. Aumenta la eficiencia y seguridad en prevención de colisiones gracias a la localización y mapeo SLAM, ayuda a mantener constante la altitud y facilita el aterrizaje. (ROS Components, 2016). En la figura 15-1 se muestra una serie de sensores TeraRanger acoplados para una visión de 360 grados.

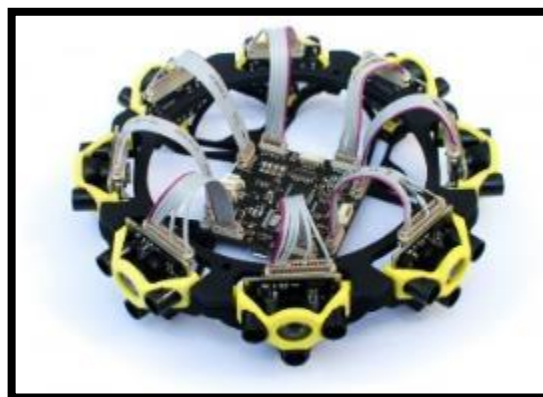


Figura 15-1. Escáner TeraRanger Tower.

Fuente: <https://bit.ly/2E5v1zJ>

1.6.1. Análisis comparativo de los sistemas de detección de obstáculos comerciales

En la Tabla 2-1 se realiza un análisis comparativo con las características más relevantes de los sistemas de detección de obstáculos comerciales existentes en la actualidad.

Tabla 2-1: Comparación de los sistemas de evasión de obstáculos comerciales

Características	Pensar	Dji guidance	Parrot S.L.A.M. dunk	TeraRanger
Fabricante	Aerialtronics	DJI	Parrot	Terabee
Procesador	NVIDIA Jetson TX1	Guidance Core	NVIDIA Tegra K1	-----
RAM	4GB 64 bit LPDDR4	-----	2GB DDR3	-----
Memoria	16GB	-----	16GB	-----
Sistema Operativo	Ubuntu Linux	Windows 7/8	Ubuntu 14.04	-----
Dimensiones	112.5 x 98.5 x 67.5 mm	170 x 170 x 16.2 mm	230 x 125 x30 mm	150 x 45 mm
Peso	715 g	107 g	140 g	130 g
Zoom	30x	----	----	----
Resolución	HD 1920 x 1080 / 30fps	----	1500x1500/ 60fps	----
Video	Si	No	Si	----
Imágenes	Si	Si	---	----
Rango	0.01 m ~ m-----	0.20 m ~ 20 m	0.20 m ~ 15 m	0.20 m ~ 14 m
Conectividad	Bluetooth, Wi-Fi microUSB, HDMI	VBUS, CAN, USB OTG 2.0, UART	microUSB 2.0 OTG, USB 3.0 Host, HDMI	UART, USB, TWI
Sensor	Cámara con zoom óptico Full HD, Cámara térmica Boson, infrarrojos	Cámaras, ultrasónicos, IMU	Cámara estéreo, IMU, magnetómetro, barómetro y ultrasónico	Infrarrojos tipo A para interiores y B para exteriores
Voltajes de operación	24 V	11.1 V~25 V	12 V	12V
Costo	Apróx: \$ 2000	Apróx: \$ 999	Apróx: \$ 1091.70	Apróx: \$1092

Realizado por: Carrasco Alex; 2018.

De acuerdo con la tabla 2-1 se concluye que el sensor pensar es uno de los mejores en cuanto a prestaciones y rangos de detección, al incorporar una cámara térmica lo hace un sensor ideal para inspecciones visuales, sus desventajas son su gran tamaño y peso, además de su costo elevado.

1.7. Proyectos de sistemas de detección de obstáculos realizados

A continuación, se presentan una serie de proyectos desarrollados con sistemas de detección y evasión de obstáculos para vehículos aéreos no tripulados (VANTS) tanto para fines comerciales, militares o de investigación científica:

En la Universidad Politécnica de Cataluña, España se desarrolló un proyecto de un sistema de evasión de obstáculos aplicado a un dron. En el vuelo en exteriores los drones poseen mucho espacio para maniobrar además el posicionamiento mediante GPS permite una estabilidad y control de vuelo notables. En la navegación en interiores encuentran problemas debido a la estrechez de los volúmenes de vuelo y la no disponibilidad de GPS, el cual no funciona correctamente dentro de los edificios. Para dar solución a esta problemática se construyó un dron con un sistema de cuatro sensores ultrasónicos que le dan la capacidad para navegar en el interior de los edificios evitando los obstáculos de modo autónomo. (Lago Canadas, 2017).

En el artículo publicado en la revista científica *Research in Computing Science* se describe una metodología para la detección de obstáculos que aparecen de manera repentina durante el vuelo autónomo de un dron. Para lograrlo este trabajo se basó en el uso de un sistema de localización y mapeo simultaneo o bien, Simultaneous Localization and Mapping, este sistema es utilizado para obtener estimaciones de la posición del dron, así como un mapa representando el ambiente observado a través de la cámara a bordo del vehículo conformado por puntos 3D. (Martínez-Carranza *et al.*, 2016).




La revista científica *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Systems Engineering* publicó un paper relacionado con la detección y evasión de obstáculos basado en un sensor LIDAR. La disponibilidad de potentes fuentes de láser seguras para los ojos y los recientes avances en componentes electroópticos y de dirección de haz mecánico ha permitido la detección y determinación de la luz por láser LIDAR, siendo una tecnología prometedora para prevenir y evitar obstáculos en una variedad de aplicaciones de aviones tripulados y no tripulados. Las excepcionales características de resolución angular y precisión de LIDAR se combinan con su buen rendimiento de detección en una amplia gama de ángulos de incidencia y condiciones climáticas, proporcionando una solución ideal para evitar obstáculos, especialmente atractivo en plataformas voladoras de bajo nivel como drones. (Sabatini, Gardi and Ramasamy, 2014).

Una vez analizados los proyectos realizados se concluye que de todos los sistemas desarrollados ninguno está probado para detectar cables eléctricos. Dos utilizan visión artificial pero la desventaja es la necesidad de un procesador de gran capacidad. Se concluye que la mejor opción es usar un sensor LIDAR de alta precisión que cuenta con un gran rendimiento ideal para la realización de este proyecto.

1.8. Placas de desarrollo con microcontroladores

Estas placas están compuestas por algún microcontrolador de empresas como Microchip, Atmel, etc. También cuentan con un procesador de alguna plataforma como ARM, y no tienen un sistema operativo, además solo responden a un lenguaje en particular. En la tabla 3-1 se presenta una comparación de las principales características de los microcontroladores.

Tabla 3-1: Comparación de características placas con microcontroladores

Características	Arduino MEGA 	Node MCU ESP8266 	STM 32 
Procesador	ATmega2560 16 bits	Xtensa Single Core 32 bits	STM32F103C8 32 bits
Memoria Flash	256Kb	16Mb	64/128 Kb
Frecuencia de reloj	16MHz	80MHz	72MHz
Terminales analógicos	16	0	10
Terminales digitales	54	10	27
Entradas y salidas	54	10	37
SRAM	8Kb	32Kb	20Kb
Conectividad	N/A	802.11 b/g/n Wi-Fi	N/A
Voltajes de operación	5V / 15mA	5V / 110mA	3.3 V / 300mA
Dimensiones	101.6 x 53.3 mm	47 x 21 mm	53 x 22.5 mm
Costo	\$ 25	\$ 15	\$ 10

Realizado por: Carrasco Alex; 2018.

En vista a los datos analizados en la tabla 3-1, el Arduino Mega tiene las mejores características en cuanto a capacidad de memoria y número de terminales, además que facilita la comunicación serial con varios dispositivos haciéndolo idóneo para la aplicación en el desarrollo de este proyecto.

1.9. Sensores

Son dispositivos que recepta una magnitud física externa y la transforman en otra magnitud, normalmente eléctrica que se pueda cuantificar y manipular. (Bolton, 2008). A continuación, se detallan algunos tipos de sensores:

- **Sensores de Movimientos:** Se encargan de recopilar información del estado de un robot, permitiendo un alto grado de control y precisión del robot con respecto a su entorno. (Bolton, 2008).
- **Sensores ultrasónicos:** Son detectores de proximidad que divisan objetos a distancia, emiten un sonido y miden el tiempo que la onda tarda en regresar cuando se refleja en un objeto, el eco recibido por el sensor se convierte en una señal eléctrica. (Cárdenas, 2015).
- **Sensores infrarrojos:** Son dispositivo opto electrónicos que miden la radiación electromagnética infrarroja que emiten los cuerpos que se ubican en su campo de visión. La radiación se encuentra en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible por lo cual se vuelve imperceptible para el ojo humano. (Jimenez, 2017).
- **Sensor LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging):** Determina la usando un haz láser pulsado que se refleja en una superficie u objeto, con el mismo principio de un ultrasónico se estima el tiempo que la onda de luz se tarda en retornar. (Penagos, 2018).
- **Sensor LIDAR de estado sólido SSL:** Este innovador sensor se ha popularizado su costo, tamaño, confiabilidad y complejidad sobre los LiDAR de barrido mecánico. La omisión de componentes mecánicos limita el campo de visión de 90 a 120 grados. (Quanergy Systems, 2016).

1.9.1. Análisis comparativo de sensores

Existe una gran variedad de sensores que cumple la misma funcionabilidad, sin embargo, unos sobresalen por sus características. En la Tabla 4-1 se detallan las características de los sensores anteriormente expuestos.

Tabla 4-1: Comparación de sensores.

CARACTERÍSTICAS	Movimiento PIR HC- SR501	Ultrasónicos HC-SR04	Infrarrojo GP2Y0A21YK	LIDAR Lite v3
Rango de medición	3-7 m	2-4 m	0.1-0.8 m	0-40 m
Angulo de detección	Cono 110°	15°	---	---
Frecuencia	---	40 Hz	25 Hz	270 Hz
Error relativo	10 mm	±3 mm	±3 mm	±25 mm
Alimentación	5-12 VDC	5 VDC	4.5-5.5 VDC	5 VDC
Dimensiones	32x24x18 mm	45 x20 x15 mm	37x13x13.5 mm	20x48x40 mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

En base a los datos recabados en la tabla 4-1 el sensor LIDAR debido a sus características ofrece mayor velocidad, rango, transmisión de datos, y capacidad de detección de objetos de área menor a un centímetro; siendo este sensor una gran herramienta para la implementación de un sistema de detección de obstáculos.

1.10. Comunicación inalámbrica

En general, la tecnología inalámbrica utiliza modulación de ondas electromagnéticas de baja potencia y una banda específica, de uso libre o privada para transmitir entre dispositivos emisor y receptor. (EcuRed, 2016). A continuación, se detallan los tipos de comunicación inalámbrica más usados:

- **Wi-Fi:** 802.11b, es un estándar normalizado por IEEE que implementa los niveles inferiores del modelo OSI, estableciendo una comunicación de fidelidad que alcanza varios cientos de metros llegando a lugares inaccesibles por cable. (Lorefice Sparacino, 2003a).
- **ZigBee:** Especificación global creada por ZigBee Alliance, basada en el estándar 802.15.4 IEEE para la capa física y enlace del protocolo convirtiéndolo en un sistema robusto y duradero. Este protocolo facilita la implementación, de bajo costo, alta fiabilidad y seguridad, y de estándar abierto. (Inalámbricas, 1999).

- **Bluetooth:** Es un estándar de comunicaciones inalámbricas de voz y datos de corta distancia, basado en radiofrecuencia, de bajo coste y consumo energético. Aplicado a todo tipo de dispositivos digitales que opera en la banda libre de los 2,4 GHz, su alcance varía en función de la potencia de emisión y llega hasta 100 metros. (Lorefice Sparacino, 2003b).
- **Radiofrecuencia:** Las comunicaciones por Radio Frecuencia tienen lugar cuando la señal propaga el transmisor al receptor se encuentra en el rango de los 30kHz a los 300 GHz, Estas frecuencias se utilizan para comunicaciones militares, de navegación, radares, radio entre otras. (Hernandez and Sarmiento).

1.10.1. Análisis comparativo de comunicaciones inalámbricas.

En la tabla 5-1 se expone las principales características de las comunicaciones inalámbricas de mayor relevancia aplicadas al uso de drones, en cuanto a transmisión y recepción de datos de vuelo y de sistemas sensoriales a bordo.

Tabla 5-1: Comparación de comunicaciones inalámbricas.

CARACTERÍSTICAS	Wi-Fi	ZigBee	Bluetooth	Radiofrecuencia (NRF24L01)
Consumo de corriente	350 mA	30 mA	65-170 mA	115 mA
Velocidad	54 Mbps	0.250 Mbps	1-3 Mbps	250kbps, 1 Mbps o 2Mbps
Potencia	40-200 mW	1-2 mW	1-100 mW	60 mW
Frecuencia de radio	2.4 GHz	0.868, 0.915, 2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Rango	30-100 m	100 m	15 m	1000 m
Estándar IEEE	802.11	802.15.4	802.15.1	C95.1-2005

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

Según las características de la tabla 5-1 la radiofrecuencia, es la comunicación que sobresale por su rango de operación, potencia y velocidad. Además de ser la comunicación inalámbrica más utilizada en aplicaciones con drones por su confiabilidad.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla la concepción general del sistema de detección y evasión de obstáculos, se establecen los requerimientos para el diseño, se selecciona los dispositivos electrónicos pertenecientes al sistema y se describen los elementos de *hardware* y *software*.

2.1. Requerimientos del prototipo

En base al estudio realizado en el capítulo anterior, se identificaron los requerimientos necesarios para implementar el sistema de detección y evasión de obstáculos de acuerdo a las necesidades de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., estos son:

- Capacidad de volar a una altura de 30 metros, soportar vientos de 40km/h y mantener la estabilidad.
- Captar imágenes en alta definición y formato térmico para poder detectar puntos calientes.
- Tener un transmisor de video incorporado a la cámara para una transmisión en tiempo real a la estación de monitoreo en tierra.
- Contar con una protección estructural para las hélices.
- Conjunto de sensores de distancia que evite colisiones con obstáculos alrededor del dron.
- Transmitir información de los sensores de distancia a la estación de monitoreo en tierra.
- Capacidad de evadir obstáculos a una distancia mínima de 1 metro de forma segura.
- Estructura modular que se adapte al dron de fácil instalación.
- Batería que permita una autonomía de vuelo mínima de 10 minutos.
- Ser de bajo costo, de fácil transportación y operación.

2.2. Consolidación general del prototipo

El sistema de detección y evasión de obstáculos consta de sensores y una tarjeta de desarrollo, se ha diseñado para instalarlo en un dron hexacoptero. Este dron cuenta con una cámara de alta definición que transmite video en tiempo real hasta un monitor de 7 pulgadas montado en la estación de monitoreo en tierra. Se utiliza un mando de radiocontrol que opera al dron para pilotarlo sin la necesidad de divisarlo en línea de vista directa, lo que se denomina FPV (first person view) o visión en primera persona. Este tipo de pilotaje de drones permite al usuario

desplazar al drone por largas distancias, o llegar a lugares inaccesibles para las personas. La principal desventaja de este tipo de pilotaje es la escasa percepción de profundidad cuando el drone se encuentra frente a obstáculos, lo que resulta muy peligroso llegando a tener más probabilidades de colisionar. En la figura 1-2 se observa la consolidación general del prototipo.

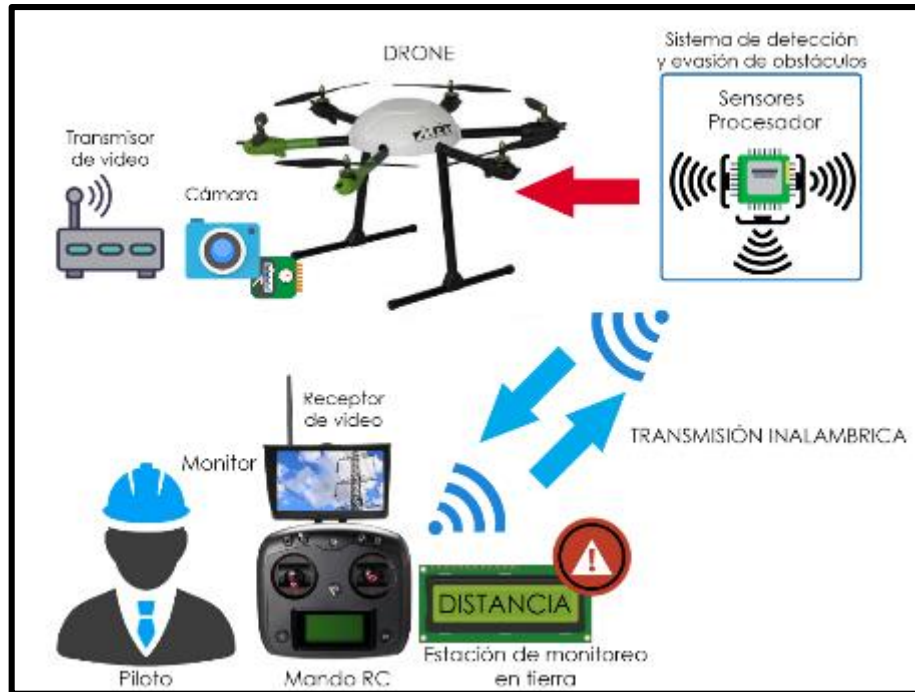


Figura 1-2. Consolidación general del prototipo.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.3. Arquitectura de *hardware* del prototipo.

Se puede observar en la figura 2-2, está conformado por la *etapa de obtención de datos* donde se encuentran los sensores de distancia encargados de enviar información del entorno hacia la *etapa de procesamiento*. Esta a su vez contiene como procesador la tarjeta de desarrollo Arduino Nano que recibe la información proveniente de los sensores. En este bloque se encuentra programado el algoritmo de detección y evasión de obstáculos, El microcontrolador a bordo se encarga del procesamiento de las señales enviadas por los sensores y a su vez, de proporcionar las órdenes al drone de evadir los obstáculos. La *etapa de transmisión* envía los datos procesados por medio de comunicación inalámbrica hasta la *etapa de recepción* para luego poder ser visualizados por la estación de monitoreo en tierra. En esta estación se generan alertas visuales y sonoras en caso de detectar obstáculos e informar la distancia a la que se encuentran. La *etapa de alimentación* suministra la energía necesaria para el funcionamiento de todos los componentes del sistema.

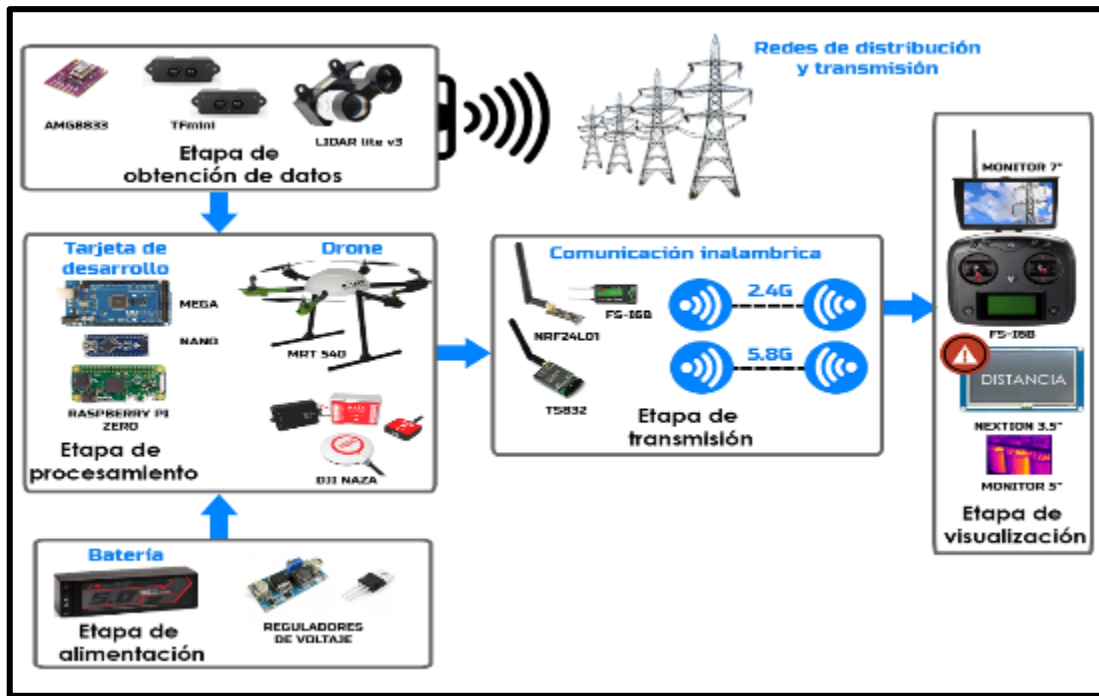


Figura 2-2. Arquitectura de *hardware* del prototipo.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.4. Diseño de las etapas de *hardware* del prototipo.

Una vez analizada la arquitectura de *hardware* del prototipo y para una mejor comprensión del funcionamiento a continuación, se detallan cada una de las etapas que conforman el sistema.

2.4.1. Etapa de alimentación.

Es la etapa encargada de suministrar la energía necesaria a todos los componentes electrónicos. Está conformado por los reguladores de tensión con el fin de reducir el voltaje proveniente de la batería hasta un voltaje capaz de soportar la tarjeta de desarrollo y los sensores.

2.4.2. Etapa de obtención de datos.

En la figura 3-2, se representa el diagrama de bloques de esta etapa, su función es recibir las señales provenientes de los sensores para posteriormente en el bloque de procesamiento ser transformados a valores de distancia. Permiten al usuario conocer en tiempo real la distancia a la que se encuentran los obstáculos alrededor del mismo.

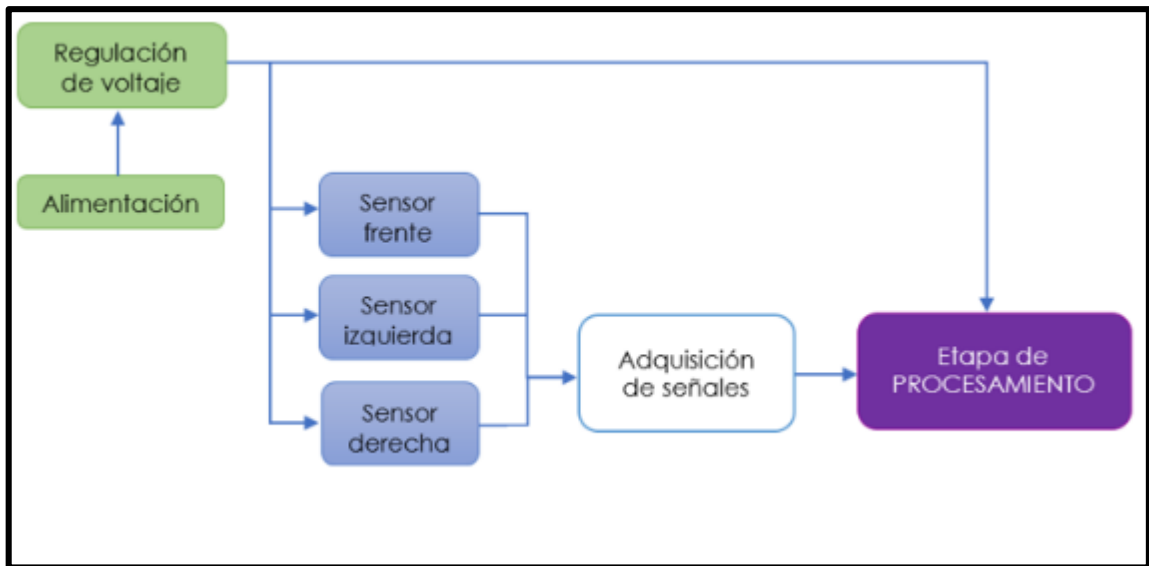


Figura 3-2. Diagrama de bloques de la etapa de obtención de datos.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.4.3. Etapa de procesamiento.

Las señales receptadas por los sensores de distancia son procesadas, junto con las señales provenientes del receptor de radiofrecuencia. Una vez procesadas por el microcontrolador se generan señales de salida, encargadas de proporcionar los movimientos de evasión al dron. En esta etapa se programa un controlador PID que genera señales PWM a las salidas que a su vez se conectan a los canales 1 y 2, de la placa controladora de vuelo pitch y roll respectivamente. Estas señales actúan en paralelo con las señales que se reciben por el mando de radiofrecuencia y controlan los movimientos del dron. En la figura 4-2, se puede observar el diagrama de bloques de esta etapa.

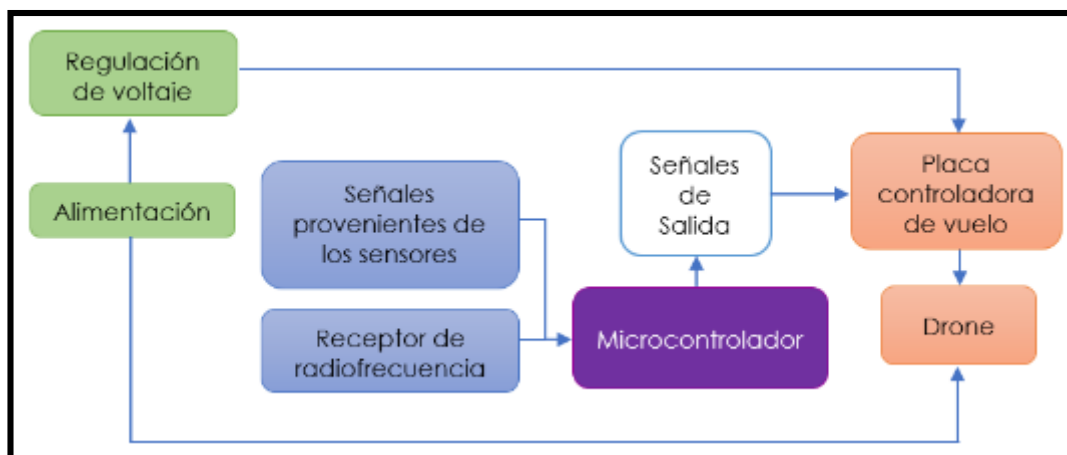


Figura 4-2. Diagrama de bloques de la etapa de procesamiento.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.4.4. Etapa de transmisión.

La información proveniente de los sensores una vez procesada es transmitida mediante comunicación inalámbrica a la estación de monitoreo en tierra. Esta transmisión se realiza mediante el uso de transceptores que envían los datos por medio de una conexión serial. En este tipo de comunicación la conexión se realiza por medio de los terminales Tx y Rx y los datos se envían bit a bit de forma bidireccional. En la figura 5-2, se puede visualizar el diagrama de bloques de la etapa.



Figura 5-2. Diagrama de bloques de la etapa de transmisión.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.4.5. Etapa de recepción y visualización.

Los datos transmitidos por el prototipo son receptados en tierra, estos datos de información son visualizados en la estación de monitoreo en tierra, la cual consta de una pantalla acoplada al radio control del dron, en la cual se puede visualizar la distancia de los sensores, además proporcionar alertas visuales y sonoras. En la figura 6-2 se observa el diagrama de bloques de esta etapa.

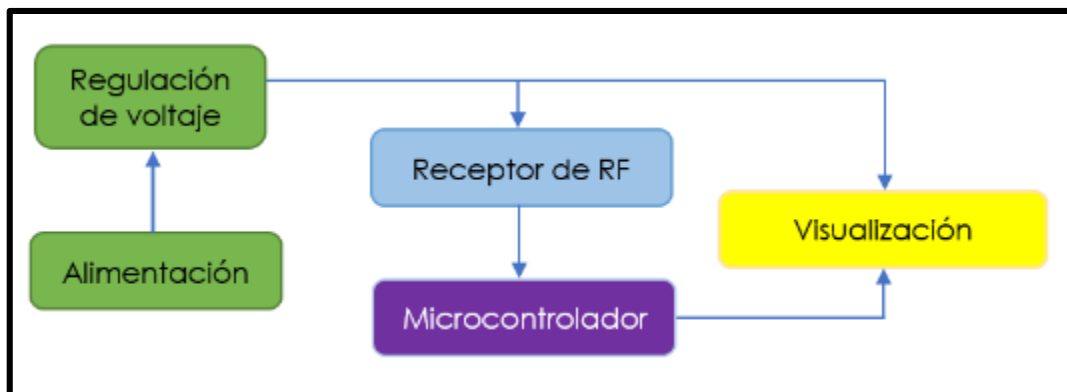


Figura 6-2. Diagrama de bloques de la etapa de recepción y visualización.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5. Selección de componentes de *hardware* para la construcción del prototipo

Después de analizar los requerimientos de *hardware*, y cada uno de los bloques que comprenden el sistema, se procede a seleccionar los componentes adecuados para el funcionamiento del prototipo.

2.5.1. Drone Multirrotor GAUI 540h Hexacoptero

Es una plataforma confiable y compacta como se observa en la figura 7-2, proporciona 3.5kg de capacidad de carga para múltiples propósitos, puede ser utilizado para filmación aérea. Con una distancia entre ejes diagonal de 540 mm, tiene una autonomía de vuelo de 15min dependiendo de las condiciones climáticas, la capacidad de la batería, la carga y el estilo de vuelo. (Heli-shop, 2018).



Figura 7-2. Drone Multirrotor GAUI 540h.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 1-2. se detallan las principales características del drone multirrotor GAUI 540h.

Tabla 1-2: Principales características del drone Multirrotor GAUI 540h

CARACTERISTICAS	
Distancia entre ejes diagonal	540mm
Peso sin batería	1050g
Peso máximo de despegue	3500g
Motores	800KV x 6
ESC	40A x 6
Batería	14.8V (4S LiPo)
Controladora de vuelo	Dji Naza
Hélices	10 x 4.5

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.2. Dispositivos de obtención de datos

Estos dispositivos permiten la adquisición de datos del entorno para medir fenómenos físicos como voltaje, corriente, temperatura, distancia en forma de señales analógicas y transformarlos en variables digitales que pueden ser procesadas por un microcontrolador.

2.5.2.1. Sensor Lidar Lite V3

Es un sensor de medición de distancia óptico compacto y ligero. Tiene un rango óptico de 40 metros basado en un láser con bajo consumo de corriente. Se puede conectar a través de I²C o PWM. En la figura 8-2 se observa el sensor Lidar con sus lentes ópticos de alta resolución. Entre sus aplicaciones se destacan su uso en drones, robots o vehículos no tripulados. (Garmin, 2018).



Figura 8-2. Sensor Lidar lite v3.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 2-2 se detallan las características más importantes del sensor Lidar lite v3.

Tabla 2-2: Características más importantes del sensor Lidar lite v3.

CARACTERISTICAS	
Rango	0-40m
Exactitud	+/- 2.5cm distancias mayores a 1m
Voltaje	4.75-5V DC; 6V Max
Consumo de corriente	105mA
Frecuencia	1-500Hz
Interfaz	I ² C o PWM
Dimensiones	20 x 48 x 40 mm
Peso	22 gramos

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

- **Funcionamiento del sensor Lidar Lite v3.**

Utiliza un láser que envía pulsos de luz infrarroja en lugar de un sonido. La forma de determinar la distancia es midiendo el tiempo que tarda el haz de luz en regresar al sensor después de haber chocado con algún objeto como se observa en la figura 9-2. Este sensor implementa técnicas que le permiten tener la precisión de hasta 1 cm mediante la digitalización y estudio de dos señales. El sistema estima el retraso entre las dos señales mediante una técnica de estudio de señales conocida como correlación, que consigue determinar si efectivamente la señal recibida es la reflejada de la emitida y no una interferencia de otras posibles fuentes lumínicas. (Jaime *et al.*, 2016).

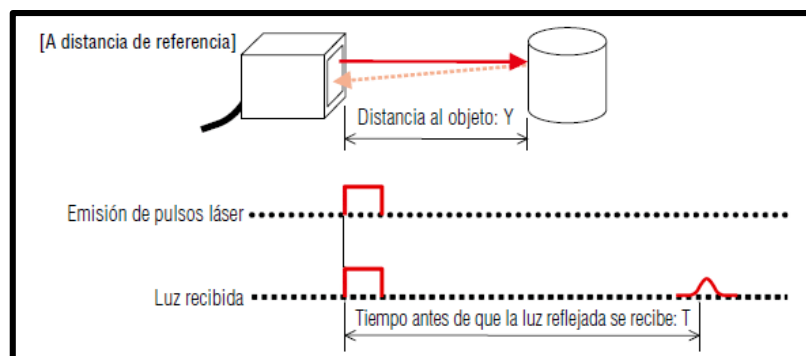


Figura 9-2. Funcionamiento del sensor Lidar Lite v3.

Fuente: http://bit.do/Funcionamiento_Lidar.

2.5.2.2. Sensor Micro Lidar TFmini

Su funcionamiento se basa en ToF (Time of Flight) diseñado para la detección de distancias en tiempo real y sin contacto con un rango de 30 a 1200 cm, de manera estable, precisa, con una alta sensibilidad y velocidad. El sensor se ilustra en la figura 10-2. Su tamaño reducido lo permite integrarse a aplicaciones destinadas a sensores pequeños, como telémetros. (Benewake, 2018).



Figura 10-2. Sensor Mini Lidar TFmini.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 3-2 se detallan las características del sensor de distancia TFmini.

Tabla 3-2: Características más importantes del sensor TFmini.

CARACTERISTICAS	
Rango Mínimo	30 cm
Rango Máximo	12 m
Frecuencia de trabajo	40 KHz
Voltaje	5V DC
Consumo de corriente	15 mA
Dimensiones	43 x 20 x 17 mm
Peso	6 gramos

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

- **Funcionamiento del sensor Mini Lidar TFmini**

Para medir distancias aplica un método de cambio de fase, donde el sensor transmite una onda de rayo infrarrojo cercano de forma periódica, esta onda se refleja al hacer contacto en un objeto en su ángulo de visión. Se conoce el tiempo de vuelo midiendo la diferencia de fase de ida y vuelta, para luego calcular el rango relativo entre el sensor y el objeto como se observa en la figura 11-2. ('Product Manual of TFmini', 2018).

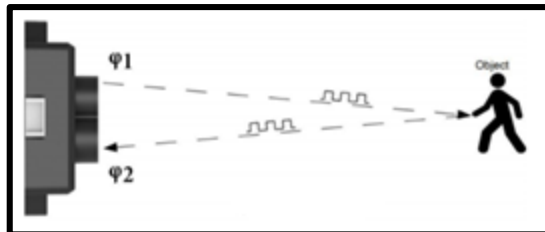


Figura 11-2. Funcionamiento del sensor TFmini.

Fuente: ('Product Manual of TFmini', 2018, pág. 2) Principio de medición de distancia.

Para obtener el valor de distancia a partir del tiempo se utiliza la ecuación 1:

$$Distancia = \frac{c}{2} * \frac{1}{2\pi f} * \Delta\varphi \quad (1)$$

Donde:

c = Velocidad de la luz.

f = Frecuencia.

$\Delta\varphi$ = Diferencia de fase.

En la figura 12-2 se observa la gráfica generada por el *software* del sensor Lidar TFmini, donde se muestra la señal de salida en base a la lectura de distancia.

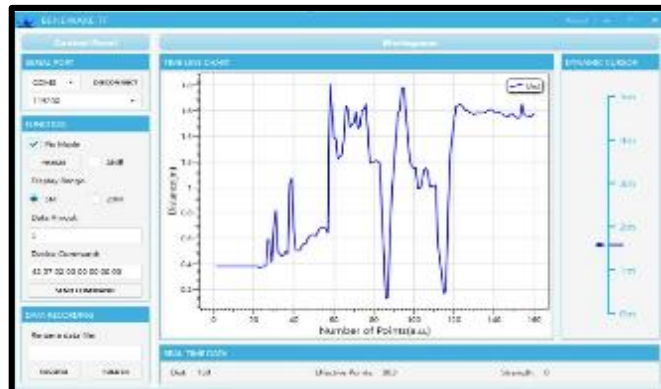


Figura 12-2. Graficas generadas por el sensor TFmini.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.3. Dispositivos de procesamiento

Tienen por finalidad procesar o decodificar la información, los microcontroladores son el componente principal de una aplicación embebida, incluyen sistemas para controlar elementos de entrada/salida. También incluye a un procesador y memoria que puede guardar el programa y sus variables (flash y RAM).

2.5.3.1. Arduino Mega.

Es una tarjeta basada en el microcontrolador ATmega 2560, como se observa en la figura 13-2. Posee 54 terminales de entrada y salida, de los cuales 14 son salidas PWM y 16 entradas analógicas permitiendo manejar proyectos de mayor demanda con respecto a *hardware*.



Figura 13-2. Arduino mega.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Posee un microcontrolador robusto y de bajo costo, en la tabla 4-2 se detallan sus características más importantes.

Tabla 4-2: Principales características del Arduino Mega

CARACTERISTICAS	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de Entrada	7-12 v
Terminales digitales	54
Terminales analógicos	16
Corriente DC por cada Pin	40 mA
Memoria Flash	32 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Dimensiones	101.6 x 53.34 mm
Peso	37 g

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.3.2. Arduino Nano.

Se basa en el microcontrolador ATmega 328 como se observa en la figura 14-2. Posee las mismas características de un Arduino UNO, pero con un tamaño reducido y un peso de 5 gramos, ideal para la implementación del prototipo. (Ojeda, 2017).

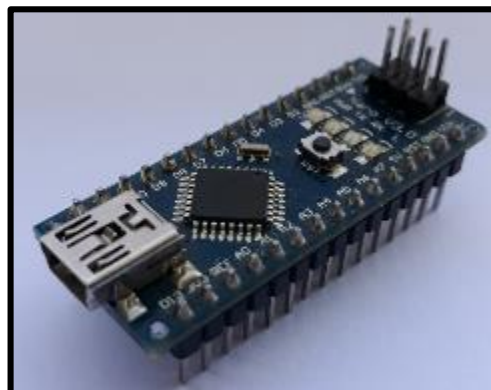


Figura 14-2. Arduino Nano.

Fuente: Carrasco Alex; 2018.

Posee un microcontrolador robusto y de bajo costo, en la tabla 5-2 se detallan sus características más importantes.

Tabla 5-2: Principales características del Arduino Nano

CARACTERISTICAS	
Microcontrolador	ATmega328
Memoria Flash	32Kb
Frecuencia de reloj	16MHz
Voltaje de Entrada	7-12 v
Terminales digitales	14
Terminales analógicos	8
Corriente DC por cada Pin	40mA
Memoria Flash	32 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Dimensiones	45×18 mm
Peso	5g

Realizado por: Carrasco Alex; 2018.

2.5.3.3. Raspberry Pi Zero.

Es una minicomputadora de menor tamaño y costo que sus antecesoras, con las mismas prestaciones gracias a su procesador Broadcom BCM2835, siendo incluso un 40% más rápida ya que trabaja a 1GHz. Su versatilidad, accesibilidad y soporte convierte a esta placa en la más cotizada para el desarrollo de proyectos en diferentes campos de aplicación. Se la observa en la figura 15-2.

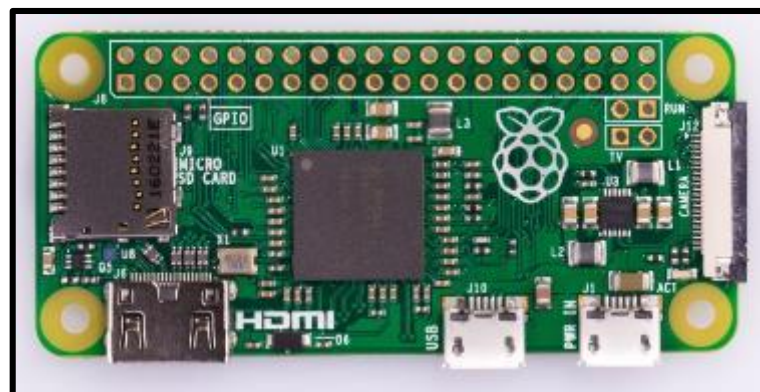


Figura 15-2. Raspberry Pi Zero

Fuente: Carrasco Alex; 2018.

Presenta características que la convierten en una poderosa herramienta de desarrollo, en la tabla 6-2 se describe sus principales características.

Tabla 6-2: Principales características de Raspberry Pi Zero.

CARACTERISTICAS	
SoC	Broadcom BCM2835
Procesador	1GHz Single Core ARM v7
Memoria RAM	512 Mb
USB	2 (Alimentación, OTG)
Salida de video	mini HDMI, PAL o NTSC
Almacenamiento	microSD
Conectividad	Wifi, BT
GPIO	40 pines
Tamaño	65 x 30 mm
Peso	9g

Realizado por: Carrasco Alex; 2018.

2.5.4. Dispositivos de transmisión

Las redes inalámbricas permiten o facilitan la comunicación entre estaciones de trabajo que se encuentran en distintos lugares. Esto se debe a que no necesitan de un medio físico de interconexión. Una vez que se tiene un medio de transmisión, se necesitan los dispositivos que propaguen y reciban las señales a través del medio elegido.

2.5.4.1. Transmisor y receptor Flysky FS-i6S.

Es capaz de recibir datos de temperatura, altitud y muchos otros tipos de sensores, posee una interfaz de pantalla táctil como se observa en la figura 16-2. Una vez que el transmisor y el receptor se hayan emparejado, solo se comunicarán entre sí, evitando que otros sistemas se conecten accidentalmente o interfieran con el funcionamiento del sistema. La antena de alta ganancia omnidireccional reduce la interferencia, al tiempo que usa menos energía y mantiene una conexión fuerte y confiable. El receptor posee seis canales de salida de tipo PWM para conectarlo a la placa controladora de vuelo de forma tradicional, es decir canal por canal. También tiene salida de tipo PPM, donde todas las señales se envían por un solo canal. En la tabla 7-2 se encuentran las principales características del transmisor y receptor por las cuales este dispositivo fue seleccionado.



Figura 16-2. Transmisor y receptor Flysky FS-i6S.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 7-2 se detallan las principales características del transmisor y receptor Flysky.

Tabla 7-2: Características del transmisor y receptor Flysky.

CARACTERISTICAS	Transmisor FS-i6S	Receptor FS-iA6B
Número de canales	6	10
Frecuencia	2.4055 - 2.475 GHz	2.4055-2.475 GHz
Modo 2.4G	AFHDS 2A	AFHDS 2A
Voltaje	4.2V-6.0V	4.0V-6.5V DC
Peso	410g	17.6g
Dimensiones	179 * 81 * 161 mm	50.6 * 34.9 * 14.9mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.4.2. Transmisor y receptor de video RC832.

Este sistema de comunicación inalámbrica trabaja con una frecuencia de 5.8G con un largo alcance. Posee 32 canales seleccionables en el transmisor y receptor. Tiene un display doble y un pulsador para cambiar el canal, se lo puede observar en la figura 17-2.



Figura 17-2. Transmisor y receptor de video RC832.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Las características principales del transmisor de video se encuentran en la tabla 8-2.

Tabla 8-2: Características del transmisor y receptor de video TS832

CARACTERISTICAS	Transmisor TS832	Receptor TS832
Frecuencia	5.8GHz	5.8GHz
Formato de video	NTSC / PAL Auto	NTSC / PAL Auto
Potencia	600mA	-----
Distancia de transmisión	5km (en área abierta)	-----
Ganancia de la antena	2db	2db
Conector de antena	RP-SMA	RP-SMA
Ancho de banda de video	8M	8M
Ancho de banda de audio	6.5M	6.5M
Voltaje	7.4-16V	12V
Corriente	220mA	200mA
Peso	22g	85g
Dimensiones	54x 32x 10mm	80x 65 x15mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.4.3. Transceptores de radiofrecuencia HolyBro 915MHz.

Es una plataforma de radiofrecuencia pequeña, liviana y económica que normalmente permite rangos de más de 300 m. El sistema utiliza una banda de 915 MHz y proporciona un enlace dúplex completo. En la figura 18-2 se observa el transmisor y receptor de radiofrecuencia.



Figura 18-2. Transmisor y receptor HolyBro.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 9-2 se presentan las características más importantes de los módulos transceptores de radiofrecuencia.

Tabla 9-2: Características del transmisor HolyBro.

CARACTERISTICAS	
Potencia	100mw
Alcance de transmisión	300m
Voltaje	3.7 ~ 6V
Consumo de corriente	100 mA
Frecuencia	915 MHz
Velocidades de Datos	250Kbps, 1Mbps
Dimensiones	26 x 53 x 10.7mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.4.4. Transmisores de radiofrecuencia NRF24101.

Tienen como función enviar y recibir datos punto a punto, o armar completas redes de transmisión. Estos módulos trabajan a 2.4GHz y permite conectarse a una interfaz SPI, además incluye un amplificador de 100mW y una antena lineal como se observa en la figura 19-2, permitiéndole lograr 1000 metros de alcance al aire libre.



Figura 19-2. Transmisor NRF24101

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 10-2 se detallan las características principales del módulo de radiofrecuencia.

Tabla 10-2: Características del módulo transmisor de radiofrecuencia NRF24101

CARACTERISTICAS	
Sensibilidad de recepción	$\leq -95\text{dBm}$ a 1Mbps
Alcance de transmisión	1000m en zona abierta
Voltaje	1.9 ~ 3.6V
Consumo de corriente	115 mA
Frecuencia	2,4 GHz
Velocidades de Datos	250Kbps, 1Mbps y 2Mbps
Dimensiones	16.5x45.5mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.5. Dispositivos de Visualización

Permiten la interacción entre los datos transmitidos por el prototipo y el usuario. Estos dispositivos se encuentran en la estación de monitoreo en tierra.

2.5.5.1. Pantalla nextion 3.5 pulgadas.

Nextion es una solución de interfaz de máquina humana (HMI) perfecta que proporciona una interfaz de control y visualización entre una persona y un proceso, una máquina, una aplicación o un dispositivo. Esta pantalla usa solo un puerto serie para comunicarse, La programación y la interfaz gráfica de usuario personalizada permiten desarrollar proyectos rápidamente y de manera rentable. En la figura 20-2 se puede visualizar la pantalla de nextion.



Figura 20-2. Pantalla táctil Nextion de 3.5 pulgadas

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 11-2 se detallan las características principales de la pantalla táctil Nextion.

Tabla 11-2: Características de la pantalla táctil Nextion

CARACTERISTICAS	
Resolución	480 x 320 pixeles
Táctil	Resistivo de 4 hilos
Voltaje	5 V
Consumo de corriente	145mA
Memoria flash	16 Mb
Dimensiones	73.44mm (L) × 48.96mm (W)

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.5.2. Monitor receptor de video 5.8G.

Se trata de un monitor de 7 pulgadas con receptor de video inalámbrico que trabaja a 5.8g incorporado, como se observa en la figura 21-2. Este receptor puede conectarse a 32 canales diferentes evitando interferencias con otras señales de video. Posee una batería LiPo de dos celdas con una capacidad de 1500mAh que permite un funcionamiento continuo de hasta 2 horas.



Figura 21-2. Monitor receptor de video 5.8G.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.6. Dispositivos adicionales

Estos dispositivos se implementan al drone para cumplir con la inspección de redes eléctricas. Se han seleccionado en base a los requerimientos, permiten realizar las grabaciones en alta definición y en formato infrarrojo de los elementos de las redes de transmisión y distribución, tanto la cámara como el sensor térmico van montados en un estabilizador de imagen de 3 grados de libertad que permiten una filmación estable y sin vibraciones.

2.5.6.1. Cámara HD Runcam2.

Se trata de una cámara de acción pequeña y ligera, muy robusta utilizada principalmente para filmación en alta definición con drones de carreras como se observa en la figura 22-2. Su bajo costo la hace ideal para utilizarla en este proyecto, además de contar con una salida de video que de conecta directamente con un transmisor.



Figura 22-2. Cámara HD Runcam2

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 12-2 se presentan las principales características de la cámara de acción Runcam2

Tabla 12-2: Características Runcam2.

CARACTERISTICAS	
Sensor	4 megapíxeles
Apertura del sensor	120 grados
Video	1080p/60,30fps 720p/120,60,30fps
Peso	49 g
Dimensiones	66 x 38 x 21mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.6.2. Sensor térmico AMG8833.

Es una matriz 8x8 hecha con sensores térmicos IR que te proporciona 64 lecturas de temperatura infrarroja, tiene la capacidad de medir temperaturas que oscilan entre 0° y 80° C. Puede detectar un cuerpo calorífico desde una distancia de hasta 7 metros con una velocidad de fotogramas máxima de 10 Hz. En la figura 23-2 se observa el sensor térmico AMG8833. (Dean Miller, 2017a).

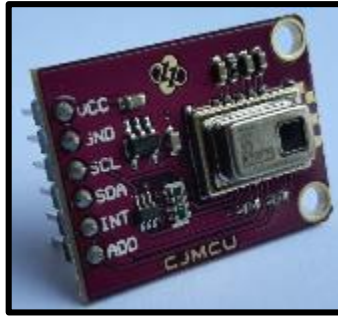


Figura 23-2. Sensor AMG8833.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 13-2 se presentan las principales características de la cámara del sensor AMG8833.

Tabla 13-2: Características del sensor térmico AMG8833.

CARACTERISTICAS	
Voltaje	3V - 5V
Rango de temperatura	0°C 80°C
Peso	2.9 g
Dimensiones	25.8mm x 25.5mm x 6.0mm

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.6.3. Estabilizador de cámara TAROT Gimbal TL3T02.

El estabilizador permite que la cámara se mantenga siempre horizontal a pesar de los movimientos del dron, para ello utiliza un acelerómetro de tres ejes que permite conocer la inclinación del dron y como actuadores motores brushless que giran la cámara en el sentido contrario a los movimientos realizados por el dron. En la figura 24-2 se observa el gimbal de tres ejes usado en este proyecto.



Figura 24-2. Tarot gimbal.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.6.4. *Micro servomotor TowerPro MG90S.*

Es un dispositivo electromecánico que consiste en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación generalmente de 180°. Poseen tres cables, dos para alimentación y uno para la señal de control, donde se aplica una señal PWM para mover al servomotor hasta la posición especificada. (Frank Mecafenix, 2017). En la figura 25-2 se observa el servomotor usado para realizar un barrido vertical moviendo el sensor Lidar de arriba hacia abajo en un ángulo de 35°.



Figura 25-2. Servomotor MG90S.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.7. *Dispositivos de alimentación*

2.5.7.1. *Regulador de voltaje LM2596*

El módulo conversor DC-DC a diferencia de los tradicionales reguladores lineales como el LM317, puede proveer hasta 3 amperios a la salida de manera muy eficiente y por lo tanto emitiendo una menor cantidad de calor. Puede usarse para adaptar el voltaje de alimentación en distintas etapas de un circuito. En la figura 26-2 se observa el modulo regulador de voltaje. (Naylamp, 2018).



Figura 26-2 Módulo conversor LM2596

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.5.7.2. Batería LiPo

Para el correcto funcionamiento del prototipo en conjunto con el dron se han seleccionado baterías LiPo compuestas por un Polímero de Litio, debido a que son usadas generalmente en drones gracias a sus beneficios, principalmente su relación entre capacidad/peso. Hoy en día debido a su gran demanda se expanden en el sector industrial permitiendo abaratar los costos de las mismas. En la tabla 14-2 se describen las ventajas y desventajas de las baterías LiPo.

Tabla 14-2: Ventajas y desventajas principales de las baterías LiPo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Menos peso	Mucho más delicadas
Tamaño reducido	la carga no es rápida
Alto nivel de descarga	Se necesita un cargador específico
Alto nivel de voltaje por celda	Inflamables
Mayor durabilidad	-----

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Los parámetros principales de selección para baterías LiPo son:

El número de celdas. - Este tipo de baterías tiene celdas de 3,7 voltios y 4.2 voltios cuando están totalmente cargadas conectadas en serie. Por ejemplo, una batería 3S tiene 3 celdas con un voltaje total de 11.1v descargada y 12.6v totalmente cargada. (Erle Robotics, 2018).

La capacidad de carga. – Este parámetro indica cuánta energía puede mantener la batería y se indica en miliamperios (mAh). Por ejemplo, una batería de 1000 mAh sería completamente descargada en una hora con una carga de 1000 miliamperios. (Mobus, 2017).

La tasa de descarga. - Es simplemente la rapidez con que una batería puede ser descargada de forma segura. Por ejemplo, una batería con una tasa de descarga de 10C se descarga a un ritmo de 10 más que la capacidad de la batería. (Bricogeek, 2018).

Para seleccionar la batería LiPo a usar para este proyecto es necesario conocer el consumo de corriente de cada dispositivo electrónico que conforma el prototipo. En la tabla 15-2 se enumera cada uno de los componentes y la corriente que consume.

Tabla 15-2: Consumo de corriente de los dispositivos del prototipo.

Dispositivos	Corriente (mA)
Sistema de detección	
Arduino Nano	40
Arduino Mega	40
Sensores TFmini	25
Sensor Lidar Lite V3	105
Micro Servomotor	110
Transceptor de RF	100
Dispositivos	Corriente (mA)
Drone	
Controladora de vuelo	150
Receptor de RF	100
Estabilizador de cámara	210
Componentes adicionales	
Sensor Infrarrojo	20
Transmisor de video	210
TOTAL	1110

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Con el consumo de corriente total establecido, se procede a determinar la capacidad de la batería y establecer el tiempo de vuelo del drone con todos los dispositivos electrónicos en funcionamiento. Se ha seleccionado una batería LiPo de 4 celdas con una capacidad de 5000mAh y una tasa de descarga de 90C de la marca Turnigy Graphene con una protección estructural de plástico como se observa en la figura 27-2.



Figura 27-2. Batería LiPo Turnigy Graphene 4S

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Para realizar el cálculo del tiempo de duración de la batería se conoce que el consumo máximo de corriente de todos los dispositivos electrónicos es de 1110 mA, el consumo de los motores es 41.44w y el consumo total de los motores es 248.64w que dan una autonomía total de 17.85min.

2.6. Diagrama de conexión para el procesador central.

En la figura 28-2, se encuentra el diagrama de conexión electrónica del prototipo con todos los componentes que lo conforman y los terminales de cada elemento. A continuación, se detalla el funcionamiento del procesador central:

- Para la etapa de alimentación el prototipo usa una batería lipo de 4 celdas que proporciona 14.8v. Para alimentar todos los elementos electrónicos se reduce el voltaje a 5v, para ello se usa un módulo LM2596 conversor DC/DC.
- El Arduino Mega es el encargado de procesar las señales provenientes de los sensores y el receptor de radiofrecuencia.
- El sensor Lidar se conecta a los terminales SDA y SCL que trabajan con comunicación I²C, que es un bus de comunicaciones en serie.
- El transceptor de radio NRF24L01 se encarga de transmitir las distancias medidas por los sensores hacia la estación de monitoreo en tierra.
- El módulo Transceptor HolyBro se conecta a los terminales de comunicación Tx y Rx del Arduino Mega, y es el encargado de transmitir información de los sensores a un computador para registrar los datos de todo el sistema.

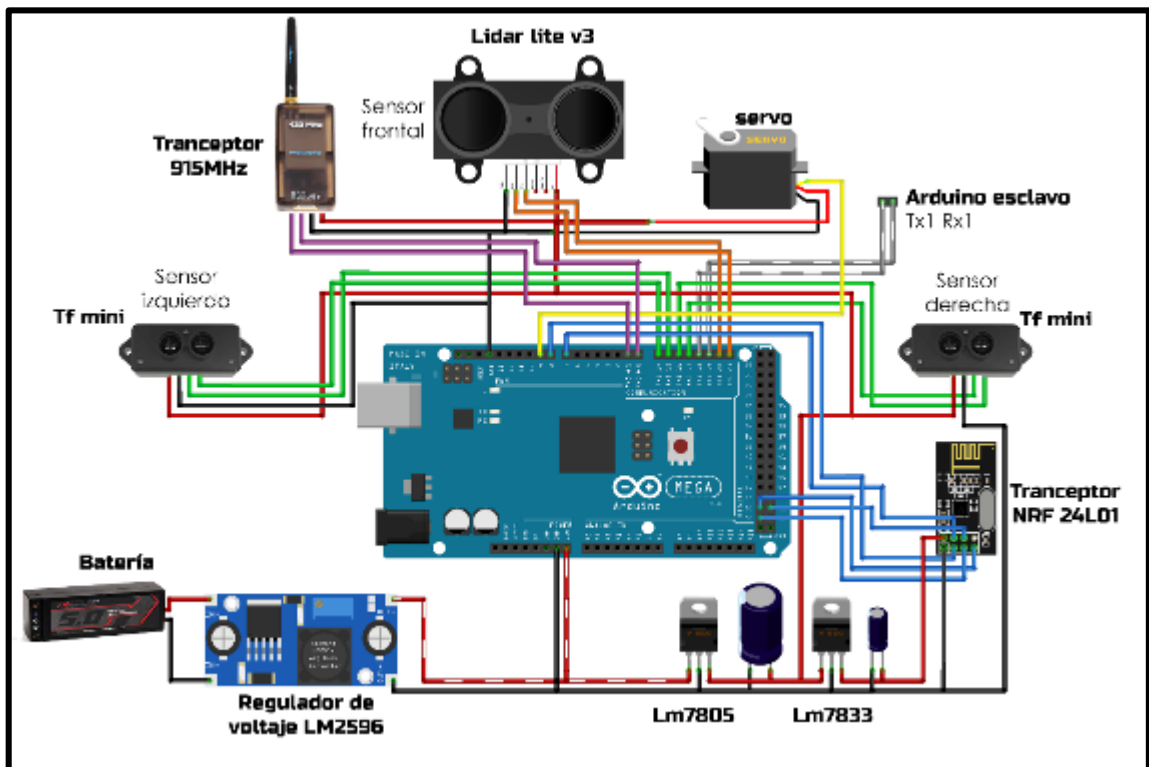


Figura 28-2. Diagrama de conexiones del procesador central.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 16-2 se detallan las conexiones de todos los módulos que integran el *hardware* del procesador central.

Tabla 16-2: Tabla de conexión de terminales y módulos.

Terminales del Arduino Mega	Módulos
I ² C	LIDAR
A4 (SDA)	SDA
A5 (SCL)	SCL
PWM	SERVOMOTOR
9	Señal
Digitales	Transceptor NRF24I01
7	CE
8	CSN
50	MISO
51	MOSI
52	SCK
Comunicación	Transceptor 915MHz
1 (Tx)	Rx
0 (Rx)	Tx
Serial 1	Sensor TFmini izquierda
18 (Tx)	Rx
19 (Rx)	Tx
Serial 2	Sensor TFmini derecha
16 (Tx)	Rx
17 (Rx)	Tx
Serial 3	Arduino Nano esclavo
14 (Tx)	Rx
15 (Rx)	Tx
Alimentación	Alimentación LM2596
Vin	Vout
GND	GND

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.7. Diagrama de conexión de la placa controladora de vuelo.

En la figura 29-2 se observa el diagrama de conexiones de la placa Naza M lite. Esta placa tiene un algoritmo avanzado de estabilización de actitud que le da una excelente estabilidad de vuelo proporcionando una excelente maniobrabilidad. El módulo GPS mantiene posición y altitud con precisión incluso en condiciones de viento. (RC Innovations, 2018).

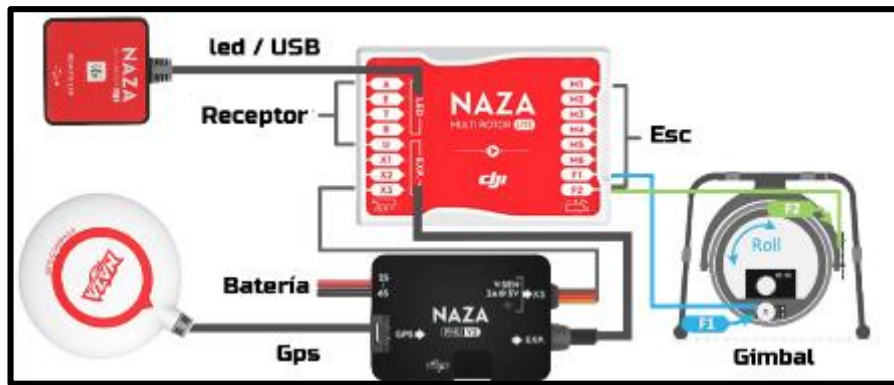


Figura 29-2. Diagrama de conexiones de la controladora de vuelo DJI Naza.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.8. Diagrama de conexión para el procesador esclavo.

Para reducir la carga de procesamiento del Arduino Mega, se usa un Arduino Nano esclavo que se encarga de recibir las señales provenientes del mando de radiocontrol y a su vez generar las acciones de evasión. Se comunica con el Arduino Mega maestro mediante comunicación serial. En la figura 30-2 se observan el diagrama de conexiones. A continuación se describen las conexiones para el procesador esclavo:

- Los canales 1 y 2 del módulo FS- iA6B se conectan a los terminales A0 y A1 del Arduino Nano, estos son los encargados de mover al dron en pitch y roll.
- Los terminales 5 y 6 se conectan a la placa controladora de vuelo Dji NAZA en los canales 1 y 2 respectivamente.

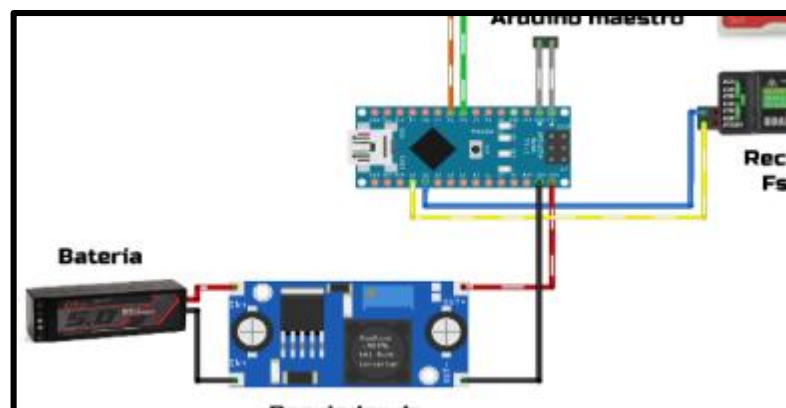


Figura 30-2. Diagrama de conexiones del procesador esclavo.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 17-2 se detallan las conexiones de los terminales para el procesador esclavo.

Tabla 17-2: Tabla de conexión de terminales del Arduino Nano.

Terminales del Arduino Nano	Módulos
Analógicos	FS- iA6B
A0	Ch1
A1	Ch2
Digitales (PWM)	Dji NAZA
5	Ch1
6	Ch2

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.9. Diagrama de conexión de la estación de monitoreo en tierra.

Para visualizar los datos transmitidos por el prototipo, se utiliza una pantalla nextion de 3.5 pulgadas. La estación de monitoreo consta de un Arduino nano el cual se conecta al transceptor NRF24L01 por medio de los terminales de comunicación SPI. La pantalla se comunica con el Arduino por medio de comunicación serial, usando los terminales de TX y RX. Se agregó un zumbador para generar sonidos cuando se genere una alerta recibida desde el prototipo. En la figura 31-2 se observa el diagrama de conexiones de la estación de monitoreo en tierra.

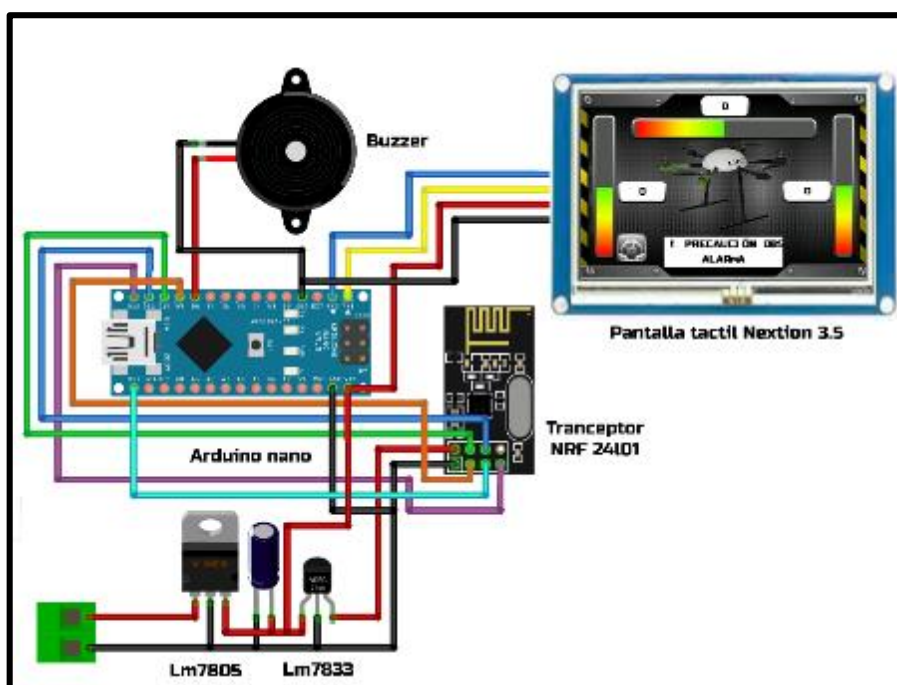


Figura 31-2. Diagrama de conexiones de la estación de monitoreo en tierra.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 18-2 se detallan las conexiones de los terminales para la estación de monitoreo en tierra, contiene el módulo de recepción de datos y la pantalla para visualización de los mismos.

Tabla 18-2: Tabla de conexión de terminales de la estación de monitoreo.

Terminales del Arduino Nano	Módulos
Digitales	Transceptor NRF24101
7	CE
8	CSN
50	MISO
51	MOSI
52	SCK
Digitales	Buzzer
8	Positivo
Comunicación	Pantalla Nextion
0(Tx)	Rx
1(Rx)	Tx

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.10. Diagrama de conexión para el sensor térmico.

Se conecta mediante comunicación I2C a la Raspberry pi zero. La ventaja de utilizar esta placa es su tamaño reducido y bajo peso, además de poseer una salida de video analógico el cual fácilmente se conecta al transmisor de video TS832 que trabaja a una frecuencia de 5.8G. El diagrama de conexiones se lo observa en la figura 32-2.

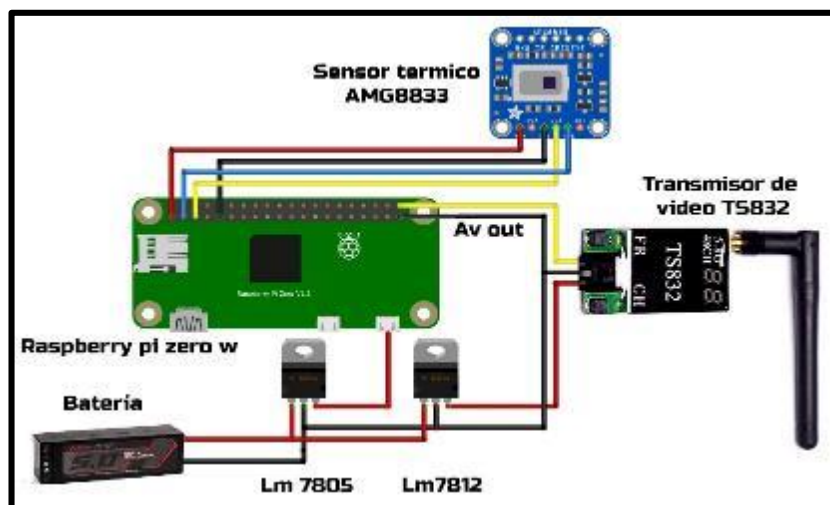


Figura 32-2. Diagrama de conexiones para la Raspberry pi y el sensor térmico.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

En la tabla 19-2 se detallan los terminales para la conexión del sensor térmico en la Raspberry.

Tabla 19-2: Tabla de conexión de terminales del sensor térmico.

Terminales de la Raspberry pi zero	Módulos
GPIO	Sensor térmico AMG8833
3.3v Terminal 1	VCC
GND Terminal 9	GND
SDA Terminal 3	SDA
SCL Terminal 5	SCL
Video	Transmisor de video TS832
GND	GND
TV out	Video IN

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.11. Diseño de PCB

Para validar el diagrama esquemático se efectuó la simulación y el montaje de los componentes en un protoboard con el fin de asegurar el funcionamiento del prototipo. Luego se realizó el diseño de tres placas PCB para facilitar la conexión de los componentes y módulos que conforman el prototipo. Las placas se diseñaron en el *software* Proteus versión 8.6.

2.11.1 Placa del procesador central

En la figura 33-2 se observa el diseño de la placa del procesador central, basado en un shield para Arduino mega.



Figura 33-2. A) Placa PCB diseñada en Proteus. B) Vista en 3D de la placa.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

2.11.1.1. Fabricación de la placa PCB del procesador central.

Luego de validar el funcionamiento del esquemático, se procede a la fabricación de la placa PCB. Para ello se empleó una baquelita de fibra de vidrio por su alta resistencia y bajo peso. Primero se empieza con el estampado del circuito impreso a laser en papel encerado utilizando el método de transferencia térmica. Luego se procede a sumergir la baquelita en cloruro férrico para corroer el cobre dejando solamente las pistas y pads necesarios para soldar los componentes electrónicos.

En la figura 34-2 se observa la placa con el revelado y sumergida en el cloruro férrico.

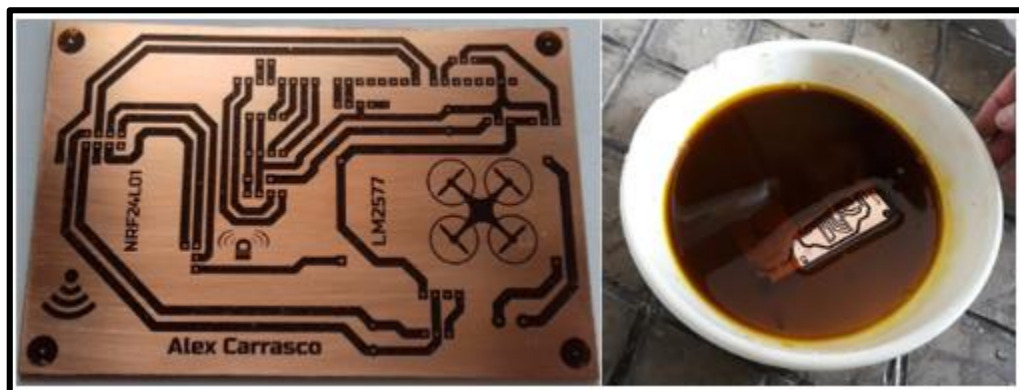


Figura 34-2. Revelado de la placa.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Una vez el proceso de corrosión del cobre ha terminado procedemos a sacar la placa y limpiarla con tiñher, quedando solamente las pistas como se observa en la figura 35-2.

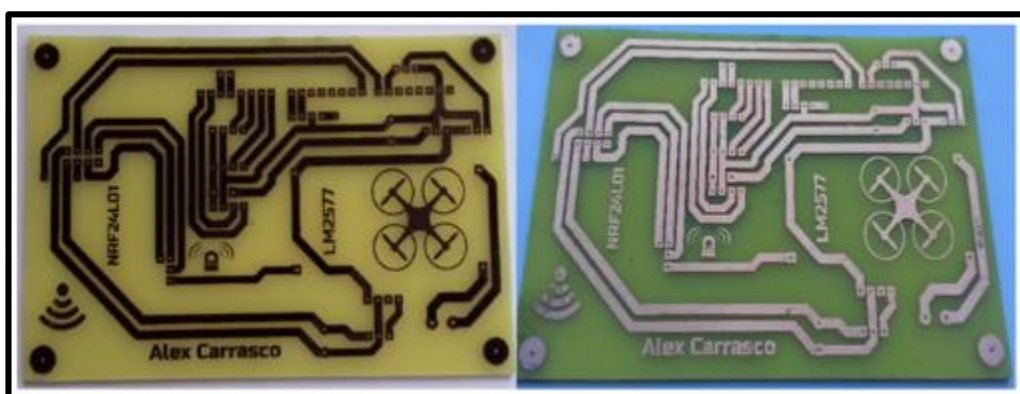


Figura 35-2. Placa después del atacado químico con cloruro férrico.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Para evitar que las pistas se oxiden se aplicó a la placa resina de curado uv y se coloca la máscara antisolder, después se aplica luz ultravioleta por aproximadamente 30 minutos

quedando la placa como se observa en la figura 36-2. El siguiente paso es realizar las perforaciones y soldar los componentes electrónicos, quedando la placa PCB lista para usarse en el prototipo.

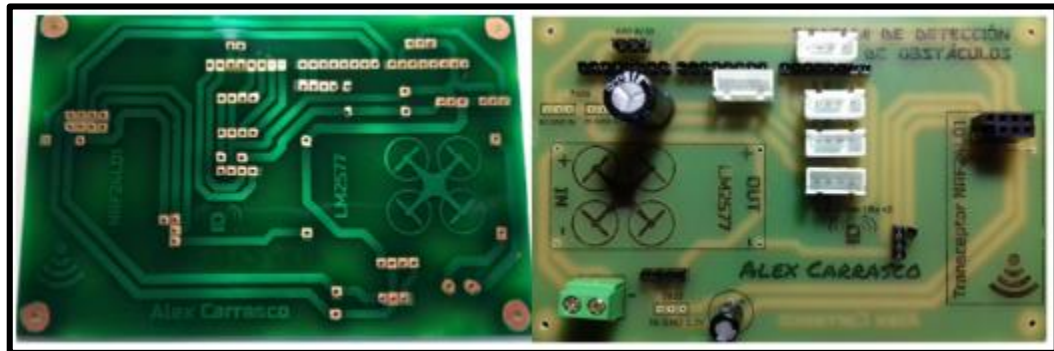


Figura 36-2. Placa con la máscara antisolder y terminada con todos los componentes.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.11.2. Placa para el procesador esclavo.

En esta placa se encuentra el Arduino nano encargado de recibir las señales provenientes del mando RC y el Arduino mega maestro, para generar en el drone las acciones de evasión. En la figura 37-2 se observa la placa PCB terminada, la cual fue realizada mediante el proceso descrito anteriormente.

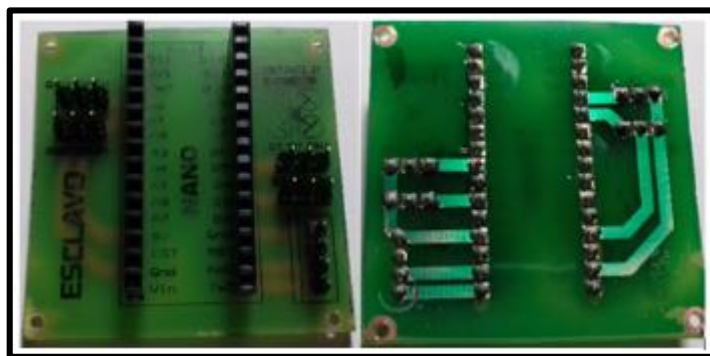


Figura 37-2. Placa del Arduino nano esclavo terminada.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

2.11.3. Placa para el monitoreo en tierra.

Esta placa a diferencia de las anteriores, no se ubica en el drone. Su objetivo es recibir los datos provenientes del prototipo y mostrarlos de forma gráfica en una pantalla TFT. En la figura 38-2 se observa la placa terminada.

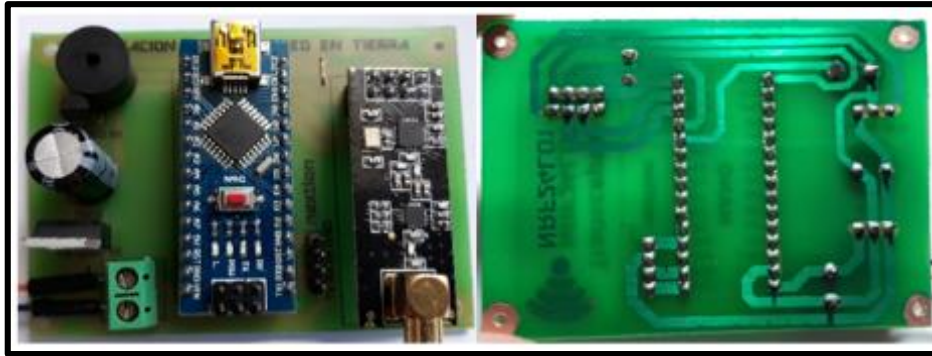


Figura 38-2. Placa de monitoreo en tierra terminada

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

2.12. Diseño estructural del prototipo

Fue diseñada usando el *software* solidworks, consta de tres partes que se acoplan entre sí, la finalidad de este diseño es el adaptarse a cualquier drone multirrotor, sin importar su tamaño. En la figura 39-2, se observa el diseño completo del prototipo.

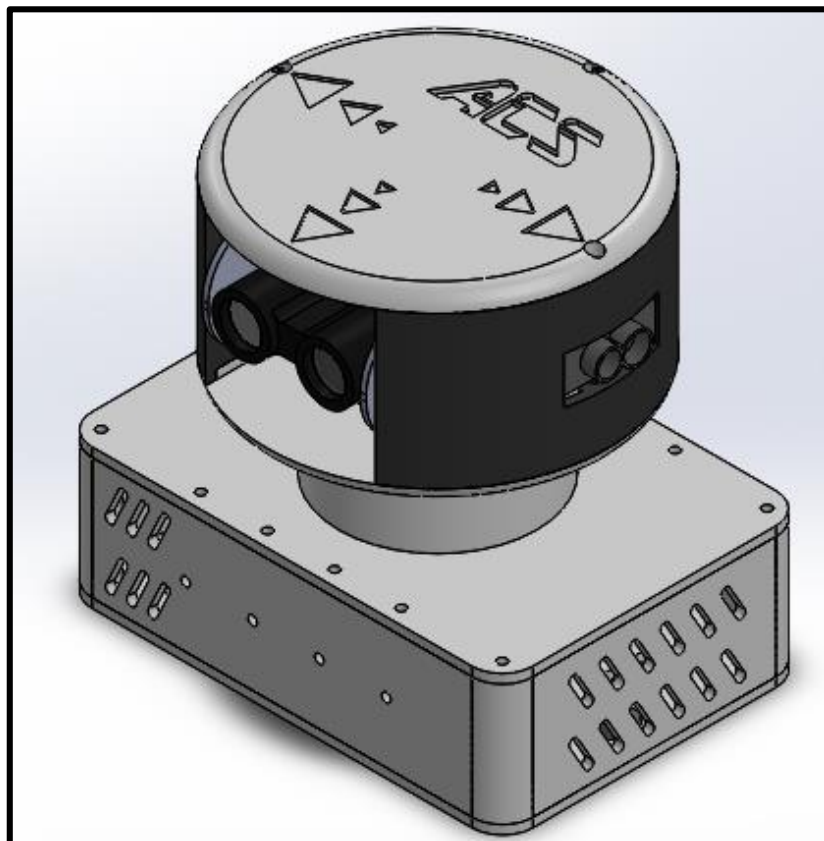


Figura 39-2. Diseño en 3D del prototipo de detección de obstáculos.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

A continuación, se muestran cada una de las partes que constituyen el prototipo.

2.12.1. Caja central

Esta caja está diseñada para contener al Arduino mega y la placa PCB principal con los componentes de procesamiento y transmisión. Se acopla a la parte superior que contiene los tres sensores. Como se observa en la figura 40-2.

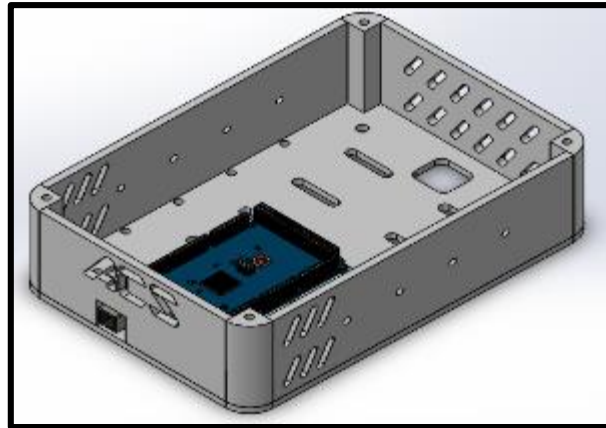


Figura 40-2. Diseño 3D de la caja central.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.12.2. Contenedor de sensores

Esta caja sirve de contenedor para los sensores infrarrojos de distancia. Se acoplan directamente a la caja central. Como se observa en la figura 41-2.

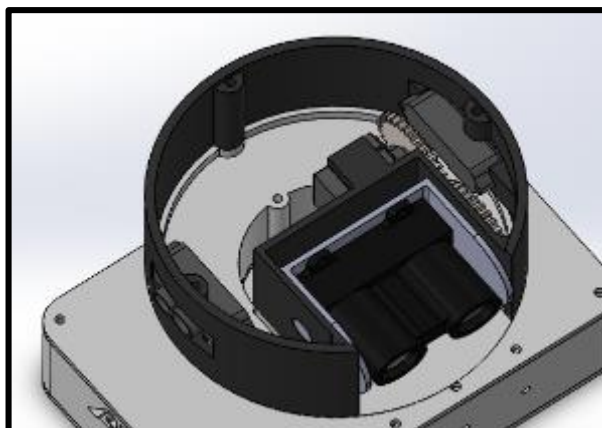


Figura 41-2. Diseño 3D del contenedor para los sensores.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.12.3. Soporte del sensor Lidar

Para el sensor Lidar se diseñó un soporte especial que sostiene al sensor y posee un micro servomotor el cual mediante dos engranajes mueve al sensor para realizar un barrido vertical. Este soporte se acopla a la caja central mediante un eje. Este soporte se lo puede observar en la figura 42-2.

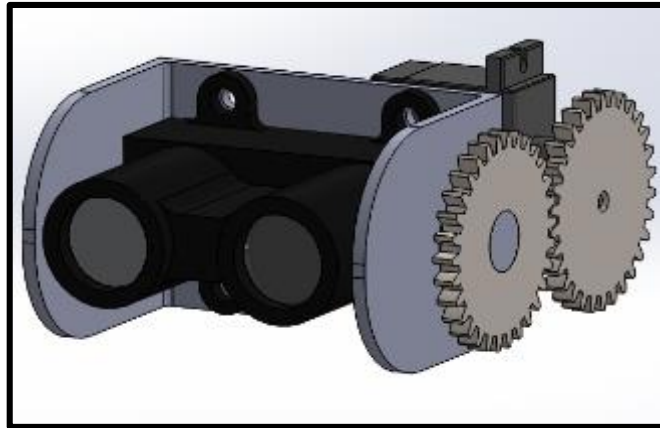


Figura 42-2. Diseño 3D del soporte para el sensor Lidar.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.12.3.1. Angulo de visión del sensor frontal

En las redes eléctricas los conductores se ubican tendidos de forma horizontal sujetos por torres metálicas, elevados por seguridad del alcance de las personas. De lo analizado en capítulo uno, se sabe que, de todos los sistemas de detección de obstáculos comerciales, ninguno asegura que puede detectar cables del tendido eléctrico. Para la detección de cables en las redes eléctricas el sensor Lidar frontal realiza un barrido vertical con un ángulo de visión de 45 grados por medio de un servomotor y dos engranajes, como se observa en la figura 43-2.

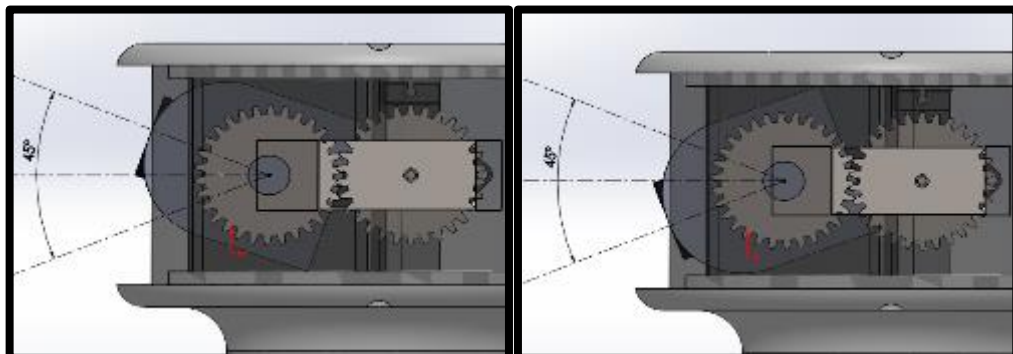


Figura 43-2. Vista del ángulo de visión del sensor frontal.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

2.13. Construcción del prototipo

Todas las partes que conforman la estructura del prototipo fueron impresas en 3D en un material PLA (ácido poli-láctico). Es un material biodegradable de gran resistencia y bajo peso ideal para la realización de este prototipo. En la figura 44-2, se observa la impresión 3D de la base central del prototipo.

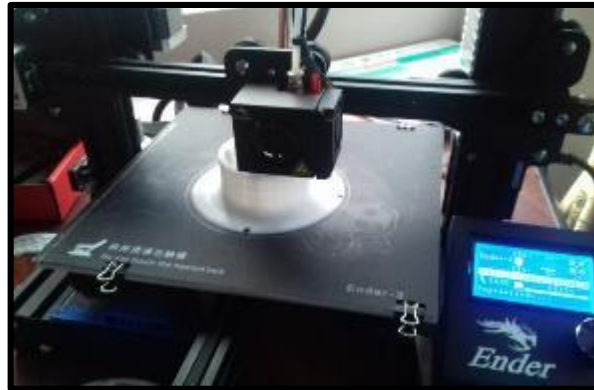


Figura 44-2. Impresión 3D de las piezas.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Luego de terminadas las impresiones de todas las piezas se ensambla el prototipo usando tornillos M3 para acoplar la caja central y los sensores, se coloca la placa PCB y conectan todos los sensores en sus zócalos correspondientes mediante cable plano y flexible para permitir el movimiento y ajuste. Luego se colocan los sensores y dos engranes plásticos que junto con el micro servomotor permiten el movimiento de la base del sensor Lidar como se observa en la figura 45-2, para realizar el barrido vertical que permite divisar obstáculos en un mayor rango.

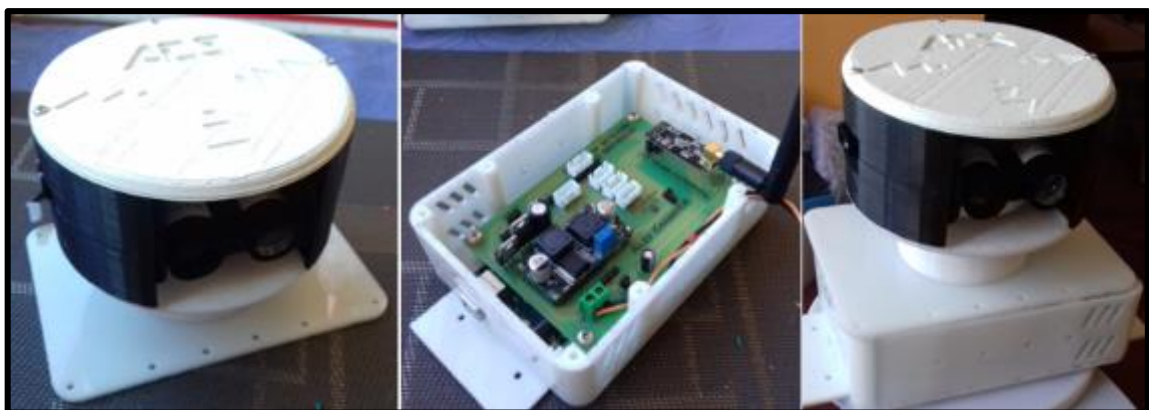


Figura 45-2. Prototipo terminado.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Una vez terminado el ensamblaje del prototipo se procedió a tomar las medidas y el peso final, estos datos se encuentran en la tabla 20-2.

Tabla 20-2: Características del prototipo.

Características del prototipo	
Dimensiones	Ancho: 15 cm Largo: 10 cm Alto: 15 cm
Peso	350 gramos

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.14. Diseño de la protección estructural.

Como una protección adicional y prevenir accidentes durante las pruebas con el drone se procedió al diseño de una estructura que evite el contacto de las hélices con otras superficies impidiendo la ruptura de las hélices y daño a terceros. Para el diseño se consideró el diámetro de las hélices más una distancia de tolerancia que evite el rozamiento que pueden provocar vibraciones y perturbaciones a la placa controladora de vuelo y al prototipo como se observa en la figura 46-2.

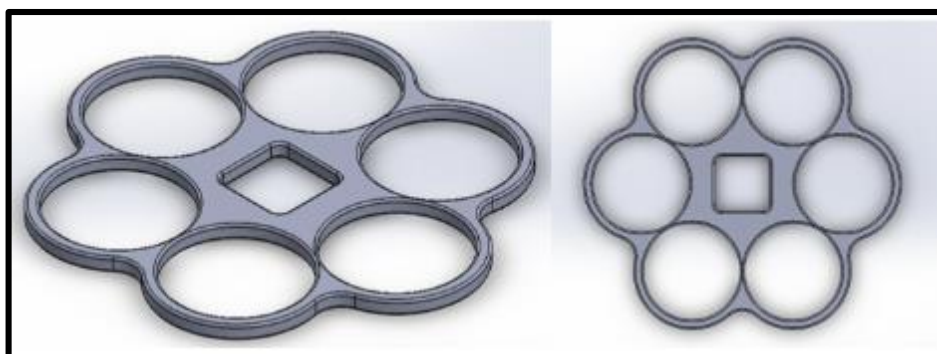


Figura 46-2. Diseño 3D de la protección estructural para las hélices.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.14.1. Implementación de la protección estructural.

Para construir la protección estructural se procedió a seleccionar materiales ligeros, pero a su vez resistentes. Los materiales seleccionados fueron fibra de vidrio y masilla plástica. Para su implementación primero se construyó un molde que se cortó a laser en espuma Flex. Luego se utilizó cinta adhesiva para cubrir el molde con resina epoxi para que se solidifique el molde. Después se colocó una capa pequeña de fibra de vidrio dándole mayor resistencia y robustez. Al final se cubrió con masilla plástica quedando como se observa en la figura 47-2.



Figura 47-2. Construcción de la protección estructural para las hélices.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.15. Implementación de la estación de monitoreo en tierra.

La implementación se la realizo mediante el uso de un maletín de aluminio con el fin de proteger a las pantallas y monitores. En este se encuentran todos los componentes de recepción y visualización como son: el monitor que recepta el video de la cámara de alta definición, el monitor de recepta las imágenes del sensor térmico y la pantalla táctil en la que se visualiza la información de los sensores y se realizan las configuraciones del prototipo. En la figura 48-2 se observa la estación de monitoreo terminada con todos los elementos asegurados al maletín.



Figura 48-2. Estación de monitoreo en tierra terminada.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

2.16. Requerimiento de diseño para el *software*.

Para procesar, transmitir y recibir los datos generados por el sistema de detección y evasión de obstáculos, se emplearon diferentes programas. Luego de analizar la arquitectura del *hardware* se procedió a estudiar los requerimientos de *software*.

Los requerimientos del *software* del dispositivo son:

- Diseñar una interfaz visual en la estación de monitoreo en tierra para visualizar el estado de los sensores.
- Proporcionar información sobre distancias de los sensores y emitir alertas sonoras en la estación de monitoreo en tierra.

2.17. Arquitectura de *software* del dispositivo.

Para el desarrollo de *software* se utilizó programas gratuitos, para la programación de los procesadores se empleó la plataforma Arduino ide basado en C++, un código abierto multipropósito con gran soporte. Se empleó para la programación de la Raspberry pi, el sistema operativo raspbian y la plataforma de código abierto Python.

2.17.1. Herramientas de *software*

En este apartado se presenta una descripción de cada uno de los programas necesarios para el desarrollo del prototipo. Todas las herramientas de *software* usadas son de libre acceso y código abierto con aplicaciones en la robótica e ingeniería.

2.17.1.1. *Software* Arduino 1.8.1

Es una plataforma libre que posee un entorno propio de desarrollo facilita la programación de un microcontrolador. Posee varios ejemplos propios en cada una de las librerías permitiendo entender de mejor manera el funcionamiento del equipo que se esté manejando. (Arduino 2018). En la figura 49-2 se observa la ventana de desarrollo de Arduino.

2.17.1.2. *Software* Nextion editor

Permite desarrollar múltiples interfaces del tipo humano maquina HMI de forma rápida mediante componentes gráficos, texto, botones, controles deslizantes, etc. e instrucciones basadas en código ASCII para codificar cómo interactúan los componentes directamente en la pantalla. Las pantallas nextion funcionan mediante comunicación serial por medio de cables (RX, TX). (ITEAD STUDIO, 2018). En la figura 50-2 se observa la interfaz del *software* Nextion editor.

2.17.1.3. *Software Raspbian*

Raspbian es el sistema operativo recomendado para Raspberry Pi, se basa en una distribución de GNU/Linux llamada Debian. La distribución es ligera para moverse ágilmente en el *hardware* de la Raspberry Pi, con un entorno de escritorio LXDE y Midori como navegador web predeterminado. (ADNPI, 2016). En la figura 51-2 se observa el escritorio de raspbian.

2.17.1.4. *Python*

Es un lenguaje interpretado, esto significa que no se compila a diferencia de otros lenguajes como Java o C/C++, sino que es interpretado en tiempo de ejecución. principalmente orientado a objetos, pero también incorpora aspectos de la programación imperativa, funcional, procedural y reflexiva. Se puede ejecutar en diferentes sistemas operativos como Windows o Linux. (Manuel Zaforas, 2017).

2.17.2. *Desarrollo del código para el sistema de detección y evasión de obstáculos.*

En la figura 52-2, se encuentra el diagrama de flujo del sistema de detección y evasión de obstáculos programados en el *software* Arduino IDE. Las librerías usadas se describen a continuación:

- La lectura del sensor frontal se la realiza con el uso de la librería <LIDARLite.h>.
- Los datos se obtienen por medio de comunicación I2C, gracias a la librería <Wire.h>. Permite fácilmente leer o escribir datos en un dispositivo externo usando dos líneas de transmisión: SDA (datos serie) y SCL (reloj serie). (Enrique Crespo, 2018). A los datos proporcionados por el sensor se les aplica un filtro de media, para mejorar la precisión de los mismos.
- Se utiliza la librería <Servo.h> para generar el barrido vertical del sensor mediante el movimiento del servomotor.
- Para los sensores laterales se utiliza la librería <TFMini.h>. Estos sensores poseen su propio microcontrolador que transmite la información mediante comunicación serial a una velocidad de 115200 baudios por lo que no requiere filtrado de datos.

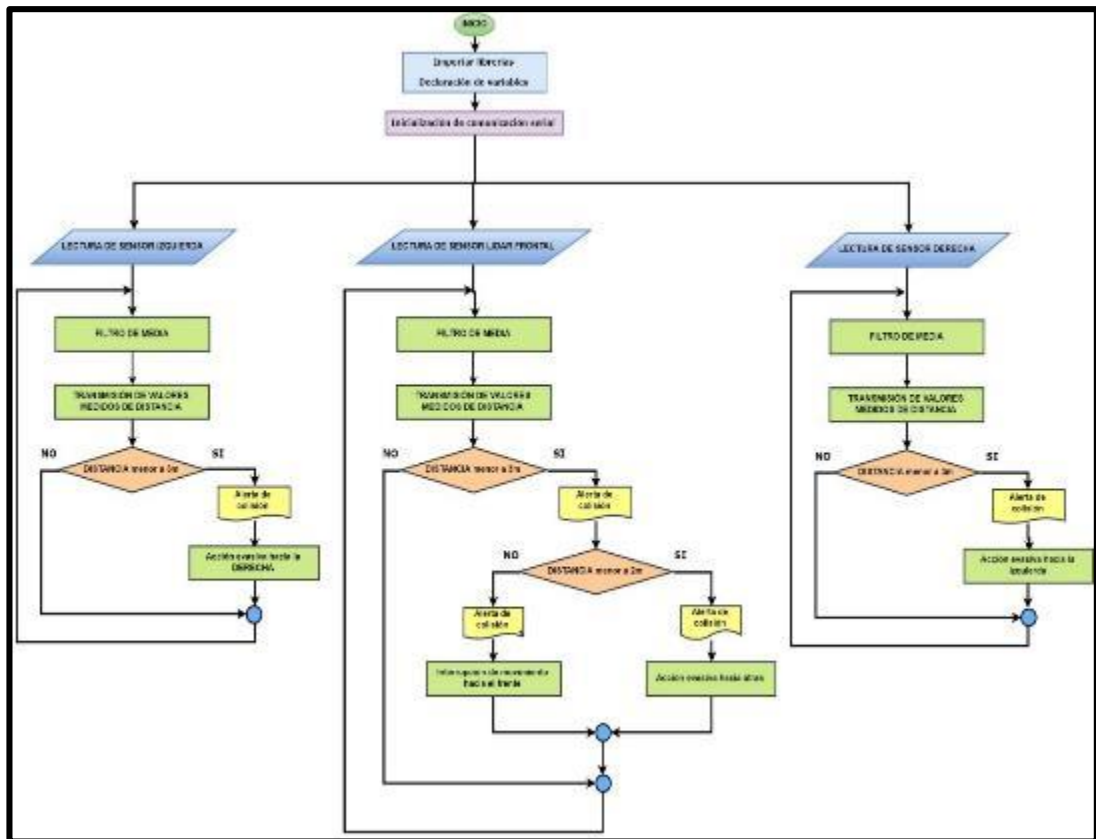


Figura 49-2. Diagrama de flujo para el sistema de detección y evasión de obstáculos.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

El algoritmo para el sistema de detección y evasión de obstáculos se describe a continuación:

- Se inicia con la importación de librerías y declaración de las variables globales e inicialización de valores.
- Se inicializa la comunicación serial a 115200 baudios e inicia la comunicación inalámbrica con el módulo NRF24L01.
- Empieza la lectura de datos de los sensores, estos datos son transformados en valores de distancia y transmitidos a la estación de monitoreo en tierra.
- Los datos de distancias son comparados con valores predeterminados para determinar si el dron se encuentra cerca de un obstáculo, si el valor de distancia es menor a 3 metros, se genera una primera alerta de colisión y se vuelve a comparar el valor de distancia, si este se encuentra entre 2 y 3 metros se debilita el mando con el movimiento hacia el frente, solo se podrá mover el dron hacia atrás para evitar que avance directo hacia el obstáculo por alguna falla en el pilotaje. Pero se pueden dar perturbaciones externas como vientos fuertes que muevan el dron acercándolo más hacia el obstáculo, en ese caso si es menor a 2 metros se emite una alerta sonora en la estación de monitoreo en tierra y automáticamente el dron toma una acción evasiva para no colisionar.

2.17.3. Desarrollo del código para el procesador esclavo.

Para evitar un colapso del sistema, se dividieron los procesos en dos procesadores. El Arduino Mega se encarga de la lectura de los sensores, procesamiento de evasión y transmisión de datos. Para la lectura del mando RC y las ordenes de evasión se utiliza un Arduino nano. Este se comunica con el Arduino Mega maestro mediante comunicación serial.

- Para la lectura de los canales de pitch y roll del mando RC, se utilizan interrupciones mediante el uso de la librería *<EnableInterrupt.h>*.
- Para la generación de las señales de salida a la placa controladora de vuelo se utiliza la librería *<Servo.h>* que permite generar señales PWM. Estas señales son las encargadas de proporcionar los movimientos autónomos de evasión.
- Para un movimiento suave se programó un controlador PID mediante el uso de la librería *<PID_v1.h>*.

En la figura 53-2 se observa el diagrama de flujo de la programación para el procesador esclavo.

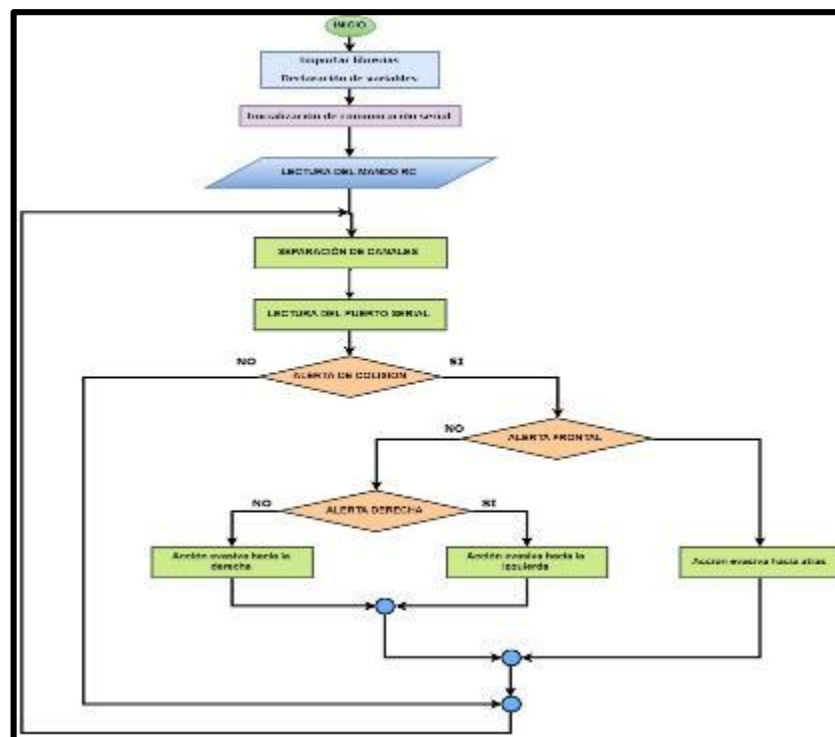


Figura 50-2. Diagrama de flujo para el procesador esclavo.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

El algoritmo del procesador esclavo se describe a continuación:

- Empieza con la importación de librerías y declaración de variables globales y se inicializa la comunicación serial a una velocidad de 115200 baudios.
- Continúa con la lectura de los datos transmitidos por el mando de control RC, posteriormente se analizan los canales 1 y 2 que son los encargados de mover al dron en pitch y roll, movimientos de adelante-atrás e izquierda-derecha respectivamente.
- Luego se leen los datos recibidos por el puerto serial desde el Arduino mega maestro, mientras no se reciba una alerta de colisión, los datos receptados por el mando RC son enviados directamente a la controladora de vuelo, permitiendo el control normal del dron en todo momento.
- Si se recibe una alerta de colisión entonces se compara, si es una alerta frontal el Arduino nano efectúa una acción evasiva previamente programada hacia el lado opuesto al que se detectó el obstáculo, en este caso hacia atrás. Si la alerta fue dada por el sensor derecho, la evasión automática se efectúa hacia la izquierda, y hacia la derecha de haber detectado un obstáculo en el lado izquierdo.

2.17.4. Desarrollo de la programación para la estación de monitoreo en tierra.

La estación de monitoreo en tierra contiene las pantallas para la visualización del video que transmite la cámara de alta definición y las imágenes en infrarrojas que genera el sensor térmico. En la pantalla Nextion se visualizan los datos de distancia que son generados por el sistema de detección y evasión de obstáculos, estos datos se presentan en barras de progreso que indican la proximidad del dron hacia un obstáculo. A continuación, se detallan las librerías usadas para la programación de la estación de monitoreo en tierra.

- Para la programación de la pantalla nextion se utiliza la librería <Nextion.h>. Permite comunicarse con la pantalla por medio de comunicación serial. (ITEAD STUDIO, 2018). Aquí se programan todas las acciones de los botones y barras de progreso.
- Para la comunicación inalámbrica con el Arduino Mega se utilizan las librerías <SPI.h>, <nRF24L01.h> y <RF24.h> que son las encargadas de controlar la transmisión de datos entre los módulos NRF24L01.(Luis Llamas, 2016).

En la figura 54-2 se observa el diagrama de flujo para la estación de monitoreo en tierra.

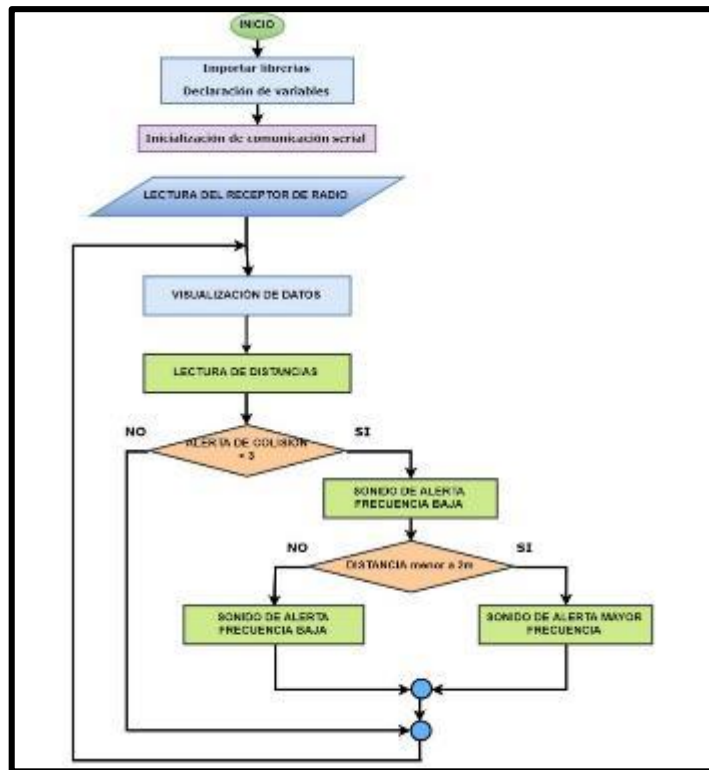


Figura 51-2. Diagrama de flujo para la estación de monitoreo.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

El algoritmo para la estación de monitoreo en tierra se describe a continuación:

- Inicia con la declaración de variables y comunicación serial a 9600 baudios, para comunicarse con la pantalla nextion.
- Se reciben los datos enviados por el prototipo y se visualizan directamente en la pantalla.
- Los datos recibidos son analizados nuevamente, si la alerta de colisión de cualquiera de los tres sensores es menor a 3 metros, se genera un sonido pulsante a una frecuencia baja, si no se repite el proceso.
- Si la distancia es menor a 2 metros la frecuencia del sonido aumenta indicando que está en peligro de colisionar.

2.17.5. Creación de la interfaz visual de la estación de monitoreo en tierra.

Para configurar la pantalla nextion, primero se crea un documento y selecciona el modelo de la pantalla, en este caso la pantalla usada para el prototipo es de 3.5 pulgadas, el modelo es NX4832T035_011. Este código indica la resolución de la pantalla y el tamaño, la resolución de la pantalla es de 480x320 pixeles. Para la visualización de los valores de distancia transmitidos por los sensores se colocan 3 barras de progreso s0, s1 y s2 y 4 bloques de texto t0, t1, t2 y t3 en

donde se muestran los valores numéricos de la distancia y las alertas generadas. Se procede a cargar las imágenes necesarias para la visualización del fondo de pantalla y las barras de progreso, como se observa en la figura 55-2.

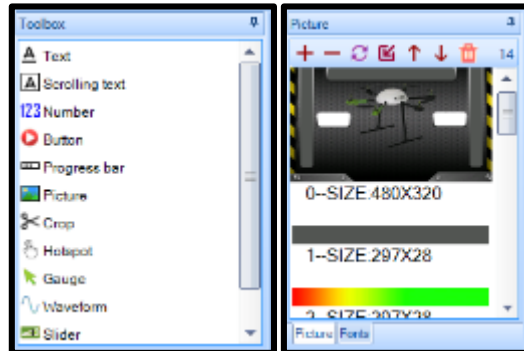


Figura 52-2: Ventana de herramientas y gráficos.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

Se coloca un botón bt0 para dirigirse a la pantalla de configuraciones, en esta se agregan varios botones que sirven para configurar varios parámetros, como la velocidad del servomotor b4, b5 y b6, la distancia máxima y mínima de detección de obstáculos b0, b1, b2 y b3. También se agregan etiquetas de texto para identificar cada uno de los botones y un último botón b7 que servirá para regresar a la pantalla principal. Las dos pantallas se observan en la figura 56-2.

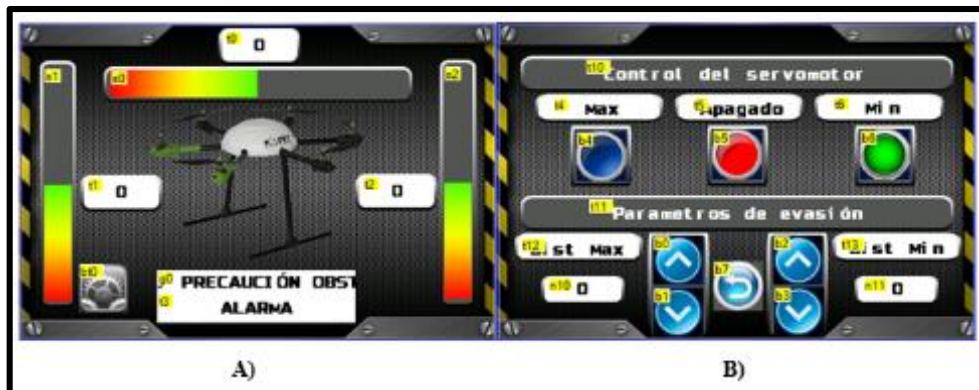


Figura 53-2: A) Pantalla principal. B) Pantalla de configuración.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

2.17.6. Programación del sensor térmico en la Raspberry pi

Para el correcto funcionamiento del sensor AMG8833 y la visualización de las imágenes térmicas, es importante instalar las librerías necesarias en Python. (Dean Miller, 2017).

- Primero se descarga los archivos “*adafruit_bus_device*” y “*adafruit_amg88xx.mpy*”.
- Luego se instala las librerías usando el comando “*sudo pip3 install adafruit-circuitpython-amg88xx*” en la terminal de la Raspberry pi.
- Una vez instaladas las librerías se procede a abrir el código de ejemplo de lectura I2C.

Este ejemplo permite visualizar los datos generados por el sensor, tanto en valores de temperatura y pixeles. La temperatura se muestra en grados centígrados y se almacenan en una matriz de 8x8 como se observa en la figura 57-2.

```
[ '26.3', '26.3', '25.8', '26.5', '26.5', '27.8', '26.5', '26.8' ]
[ '26.3', '26.3', '26.3', '26.7', '26.5', '26.7', '26.5', '27.8' ]
[ '26.8', '26.8', '26.5', '26.3', '26.7', '27.8', '27.5', '26.7' ]
[ '26.5', '26.5', '26.3', '26.7', '26.3', '26.5', '27.8', '27.8' ]
[ '27.3', '26.7', '26.5', '26.5', '26.7', '26.5', '26.3', '27.8' ]
[ '27.8', '26.8', '26.5', '26.3', '26.3', '27.8', '26.5', '26.5' ]
[ '26.7', '26.5', '26.5', '26.5', '26.7', '26.5', '26.8', '26.3' ]
[ '26.3', '26.3', '26.8', '26.5', '25.8', '25.8', '26.3', '26.5' ]
```

Figura 54-2: Matriz de valores de temperatura.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

Para visualizar la imagen térmica se procede a abrir el código realizado en Python que descargamos anteriormente “*rpi_thermal_cam.py*”, al ejecutarlo nos genera una imagen térmica del objeto a donde este apuntando el sensor, como se muestra en la figura 58-2.

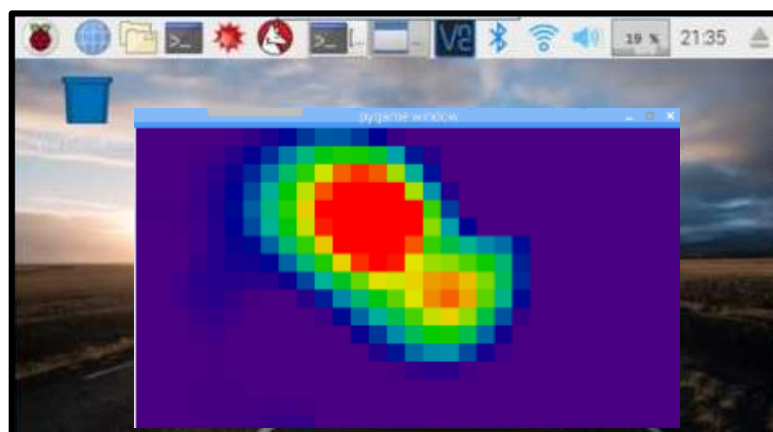


Figura 55-2: Imagen térmica generada por el sensor AMG8833.

Fuente: Alex Carrasco, 2018.

CAPITULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas al prototipo para garantizar el cumplimiento de los requerimientos planteados, se realizaron pruebas de alcance en la detección a los sensores de distancia y la respuesta en la evasión de obstáculos. También se realizaron pruebas de autonomía de vuelo, capacidad máxima de carga y estabilidad del dron, además de pruebas de comunicación inalámbrica y los rangos de detección de temperatura en el sensor térmico.

3.1. Comparación de mediciones para el sistema de evasión de obstáculos

Estas pruebas se aplicaron para determinar el error del sistema de evasión de obstáculos una vez culminado la implementación del mismo, en la figura 1-3 se aprecia el prototipo implementado.



Figura 1-3: Prototipo implementado.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

3.1.1. *Análisis de medición de distancia con el sensor Lidar Lite v3*

El desarrollo de esta prueba tuvo como objeto verificar que el sensor Lidar Lite v3 toma valores reales de distancia para lo cual se recabaron 30 muestras variando 50 centímetros entre cada una, y se comparó con un equipo de medición patrón. En la figura 2-3 se ilustra como fue el proceso de toma de datos.



Figura 2-3: Toma de muestras del sensor Lidar lite.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

Con los resultados experimentales de la tabla 1-3 se determinó que el sensor mide valores reales con una baja desviación estándar que indica homogeneidad de la muestra. El error calculado fue de 0.027 m sin filtrar y aplicando un filtro de media se tiene un error de 0.018m, se concluyó que el filtro es eficaz en la reducción del error del sistema en un 33%.

Tabla 1-3: Análisis comparativo de la medición de distancias con el sensor Lidar lite v3.

Número muestra	Distancia de referencia (m)	Distancia medida Lidar Lite v3 Sin filtro (m)	Distancia medida Lidar Lite v3 Filtrado (m)	Error absoluto Sin filtro (m)	Error absoluto Filtrado (m)
1	0,50	0,53	0,51	0,03	0,01
2	1,00	0,99	1,02	0,01	0,02
3	1,50	1,52	1,51	0,02	0,01
4	2,00	1,98	2,02	0,02	0,02
5	2,50	2,51	2,52	0,01	0,02
6	3,00	2,98	3,01	0,02	0,01
7	3,50	3,49	3,50	0,01	0,01
8	4,00	3,98	4,02	0,02	0,02
9	4,50	4,48	4,53	0,02	0,03
10	5,00	4,98	5,02	0,02	0,02
11	5,50	5,54	5,51	0,04	0,01
12	6,00	5,97	6,01	0,03	0,01
13	6,50	6,48	6,52	0,02	0,02
14	7,00	7,03	7,01	0,03	0,01
15	7,50	7,51	7,51	0,01	0,01
16	8,00	7,98	8,03	0,02	0,03
17	8,50	8,46	8,51	0,04	0,01
18	9,00	8,96	9,01	0,04	0,01
19	9,50	9,52	9,53	0,02	0,03

Número muestra	Distancia de referencia (m)	Distancia medida con el sensor Lidar lite v3 (m)	Distancia medida Lidar Lite v3 Filtrado (m)	Error absoluto Sin filtro (m)	Error absoluto Filtrado (m)
20	10,00	10,03	10,01	0,03	0,01
21	10,50	10,49	10,52	0,01	0,02
22	11,00	10,97	11,02	0,03	0,02
23	11,50	11,53	11,53	0,03	0,03
24	12,00	11,95	12,01	0,05	0,01
25	12,50	12,52	12,01	0,02	0,01
26	13,00	12,96	13,02	0,04	0,02
27	13,50	13,55	14,52	0,05	0,02
28	14,00	13,96	14,03	0,04	0,03
29	14,50	14,45	14,53	0,05	0,03
30	15,00	15,04	15,02	0,04	0,02
Media				0,0273	0,01766
Desviación Estándar				0,0126	0,00774

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.1.2. Análisis de medición de distancia con los sensores Lidar TFmini

El objetivo de esta prueba determina la exactitud al medir distancias con los sensores Lidar TFmini y comprobar que el código no incluye errores. Para el desarrollo de esta prueba se tomaron en total 30 muestras, desde los 0,30m hasta los 9m, comparando cada una con un equipo de medición patrón. En la figura 3-3, se observa cómo se tomaron las muestras, y los datos obtenidos a través del monitor serial de Arduino.



Figura 3-3: Recopilación de datos con los sensores TFmini.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

En la tabla 2-3, se presenta los resultados de esta prueba y se verifica que el prototipo mide valores con un error absoluto promedio de 0.0297 m para el sensor derecho y 0.0287 m para el sensor izquierdo, además que la desviación estándar indica una muestra homogénea es decir que los datos tomados evidencian la estabilidad del prototipo.

Tabla 2-3: Análisis comparativo de medición de distancias con los sensores TFmini.

Número muestra	Distancia de referencia (m)	Distancia medida con los sensores (m)		Error absoluto (m)	
		Sensor derecha	Sensor izquierda	Error S. derecha	Error S. izquierda
1	0,30	0,32	0,34	0,02	0,04
2	0,60	0,65	0,64	0,05	0,04
3	0,90	0,94	0,91	0,04	0,01
4	1,20	1,21	1,24	0,01	0,04
5	1,50	1,54	1,52	0,04	0,02
6	1,80	1,85	1,82	0,05	0,02
7	2,10	2,12	2,14	0,02	0,04
8	2,40	2,44	2,45	0,04	0,05
9	2,70	2,72	2,72	0,02	0,02
10	3,00	3,04	3,05	0,04	0,05
11	3,30	3,34	3,33	0,04	0,03
12	3,60	3,65	3,61	0,05	0,01
13	3,90	3,92	3,92	0,02	0,02
14	4,20	4,23	4,22	0,03	0,02
15	4,50	4,55	4,55	0,05	0,05
16	4,80	4,81	4,83	0,01	0,03
17	5,10	5,15	5,13	0,05	0,03
18	5,40	5,41	5,45	0,01	0,05
19	5,70	5,74	5,71	0,04	0,01
20	6,00	6,04	6,02	0,04	0,02
21	6,30	6,33	6,32	0,03	0,02
22	6,60	6,61	6,62	0,01	0,02
23	6,90	6,92	6,94	0,02	0,04
24	7,20	7,23	7,25	0,03	0,05
25	7,50	7,51	7,52	0,01	0,02
26	7,80	7,81	7,83	0,01	0,03
27	8,10	8,12	8,13	0,02	0,03
28	8,40	8,43	8,43	0,03	0,03
29	8,70	8,72	8,71	0,02	0,01
30	9,00	9,04	9,01	0,04	0,01
Media				0,0297	0,0287
Desviación Estándar				0,0142	0,0136

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Con los resultados obtenidos de manera individual se realizó la tabla 3-3, donde se resumen la media de los errores absolutos obtenidos con cada sensor que integra el sistema anticollisiones, donde se concluyó que el error absoluto total fue de 0.0254m, que resulta en el 2,54% de la distancia mínima segura de 1m establecida para del prototipo respecto a un obstáculo.

Tabla 3-3: Resultados de Pruebas del error del sistema anticollisiones

Sensor	Error
Sensor Lidar v3	0,0176 m
Sensor TFmini derecho	0,0297 m
Sensor TFmini izquierdo	0,0287 m
Promedio	0,0254 m

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.2. Prueba de Regreso a casa del prototipo

La función *Regreso a casa* permite al prototipo retornar de manera autónoma al punto de despegue, en caso que el mismo pierda conexión con el mando en tierra. Con esta finalidad el prototipo integra un dispositivo GPS, y para determinar el nivel de confianza de la función se tomó 10 muestras aleatorias comparando las coordenadas del punto de despegue con el punto de aterrizaje. En la figura 4-3, se observa el proceso que mantuvo el desarrollo de esta prueba.

$$haversin\left(\frac{d}{R}\right) = haversin(\varphi_1 - \varphi_2) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) haversin(\Delta\lambda) \quad (2)$$

$$haversin(\theta) = \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

Donde:

haversin = Función haversine, ecuación 3.

d = Distancia esférica entre dos puntos.

R = Radio de la esfera.

φ_1 = Latitud del punto 1

φ_2 = Latitud del punto 2

$\Delta\lambda$ = Diferencia de longitudes



Figura 4-3: Desarrollo de pruebas de regreso a casa.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

En la tabla 4-3 se realiza una comparativa entre las coordenadas de despegue respecto a las coordenadas de aterrizaje tomadas con la ayuda de la aplicación google maps, para cada una de las muestras tomadas se calculó el error usando la fórmula del Haversine, como se puede observar en la ecuación 2 y ecuación 3. En base a los resultados obtenidos se concluyó que el radio de error de la función fue de 1.409m, siendo un valor muy pequeño al tratarse de distancias dentro del globo terráqueo.

Tabla 4-3: Análisis comparativo de la función regreso a casa.

Número muestra	Coordenada de despegue		Coordenada de aterrizaje		Error (m)
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
1	-1,659747°	-78,678585°	-1,659757°	-78,678580°	1,241
2	-1,660294°	-78,678640°	-1,660281°	-78,678639°	1,446
3	-1,660005°	-78,678802°	-1,660010°	-78,678795°	0,954
4	-1,659546°	-78,679314°	-1,659558°	-78,679320°	1,492
5	-1,659737°	-78,679598°	-1,659730°	-78,679588°	1,359
6	-1,657269°	-78,677819°	-1,657283°	-78,677819°	1,557
7	-1,656070°	-78,677163°	-1,656075°	-78,677153°	1,241
8	-1,656549°	-78,677484°	-1,656563°	-78,677481°	1,589
9	-1,656018°	-78,677176°	-1,656032°	-78,677181°	1,650
10	-1,660164°	-78,679554°	-1,660178°	-78,679555°	1,560
Media					1,409
Desviación Estándar					0,213

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.3. Prueba del sistema anticollisiones para detección de cables

El sistema anticollisiones se implementó para facilitar la inspección en redes de distribución y transmisión en la empresa eléctrica Riobamba S.A., por ende, el drone mantiene su frente para la visualización de las imágenes captadas por el mismo. Por lo tanto, el sistema anticollisiones tiene un ángulo de visión de 180° horizontalmente y 45° verticalmente en la parte frontal.

Para establecer el rango de distancia de detección del prototipo con cables en líneas de transmisión y distribución se tomó 14 muestras donde se evidenció la efectividad del sistema variando la distancia 0.3 metros entre cada muestra. El desarrollo de esta prueba se ilustra en la figura 5-3.



Figura 5-3: Proceso de prueba de detección de cables.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

En la tabla 5-3 según los datos obtenidos se estableció un rango de 60cm como distancia mínima y 3.6m como distancia máxima para la detección de cables, siendo un rango aceptable dentro de las medidas establecidas como distancia mínima segura del prototipo a un obstáculo de 1m.

Tabla 5-3: Análisis de detección de cables con el prototipo.

Número muestra	Distancia (m)	Detección de cables
1	0,30	Negativa
2	0,60	Positiva
3	0,90	Positiva
4	1,20	Positiva
5	1,50	Positiva
6	1,80	Positiva
7	2,10	Positiva
8	2,40	Positiva
9	2,70	Positiva
10	3,00	Positiva

Número muestra	Distancia (m)	Detección de cables
11	3,30	Positiva
12	3,60	Positiva
13	3,90	Negativa
14	4,20	Negativa

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.4. Prueba del sistema anticollisiones para detección lateral de obstáculos

El sistema anticollision tiene un ángulo de visión de 180° horizontalmente que incluye los laterales del prototipo, para establecer el nivel de confianza del sistema se tomó 12 muestras variando la distancia 25 centímetros entre cada muestra. En la figura 6-3 se observa cómo se realizó la prueba de obstáculos con el prototipo.



Figura 6-3: Proceso de prueba de detección lateral de obstáculos.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

Analizando los datos de la tabla 6-3 se determinó que tiene un rango de 0.5m como distancia mínima y 2m como distancia máxima. Cumpliendo con los requerimientos establecidos como distancia mínima segura del prototipo a un obstáculo de 1m.

Tabla 6-3: Análisis de detección de obstáculos laterales con el prototipo.

Número muestra	Distancia (m)	Detección de obstáculos
1	0,25	Negativa
2	0,50	Positiva
3	0,75	Positiva
4	1,00	Positiva
5	1,25	Positiva
6	1,50	Positiva
7	1,75	Positiva

Número muestra	Distancia (m)	Detección de obstáculos
8	2,00	Positiva
9	2,25	Negativa
10	2,50	Negativa
11	2,75	Negativa
12	3,00	Negativa

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.5. Prueba del rango de comunicación inalámbrica

La distancia del prototipo respecto al usuario y la estación de monitoreo establece una comunicación y transmisión de datos óptima, para establecer el rango de funcionamiento óptimo se realizó esta prueba donde se verificó las condiciones de funcionamiento con el drone estático desde los 25m hasta 500m en línea recta, con un total de 20 muestras. El desarrollo de esta prueba se visualiza en la figura 7-3



Figura 7-3: Desarrollo de prueba comunicación inalámbrica.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

En la tabla 7-3 se observa los resultados experimentales obtenidos con la prueba de comunicación inalámbrica del prototipo y sus elementos. Una vez analizado los datos recabados se estableció la distancia máxima para una comunicación inalámbrica óptima en 150 m, otorgando al prototipo un rango bastante amplio que cumple con los requerimientos establecidos.

Tabla 7-3: Análisis del rango de comunicación inalámbrica del prototipo.

Número muestra	Distancia (m)	Transmisión de video	Transmisión de datos	Recepción de Radiocontrol
1	25	Excelente	Excelente	Excelente
2	50	Excelente	Excelente	Excelente
3	75	Buena	Excelente	Excelente

Número muestra	Distancia (m)	Transmisión de video	Transmisión de datos	Recepción de Radiocontrol
4	100	Buena	Excelente	Excelente
5	125	Buena	Excelente	Excelente
6	150	Buena	Excelente	Excelente
7	175	Mala	Excelente	Buena
8	200	Mala	Excelente	Buena
9	225	Mala	Excelente	Buena
10	250	Perdida de señal	Excelente	Mala
11	275	---	Excelente	Mala
12	300	---	Excelente	Alarma de baja señal
13	325	---	Buena	Alarma de baja señal
14	350	---	Buena	Perdida de señal
15	375	---	Buena	---
16	400	---	Buena	---
17	425	---	Buena	---
18	450	---	Buena	---
19	475	---	Buena	---
20	500	---	Buena	---

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.6. Prueba del sensor térmico AMG8833

El objetivo de esta prueba fue comprobar si las mediciones de temperatura del sensor son correctas y el código no incorpora error al sensor. Se conoce el error propio del sensor es de 1.5°C. Para esta prueba se tomaron 10 muestras de imágenes térmicas generadas por diferentes fuentes de calor aumentando en 8°C hasta los 80°C, y se compararon con un equipo patrón. En la figura 8-3, se observa la obtención de datos del sensor térmico.

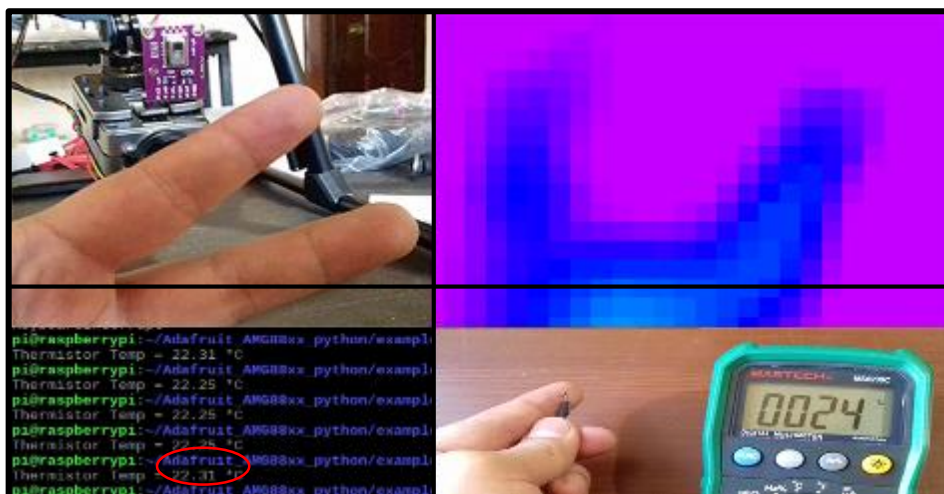


Figura 8-3: Desarrollo de la prueba para el sensor térmico.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

En la tabla 8-3, se muestran los datos obtenidos por el sensor térmico y el equipo patrón. Una vez analizados los datos se concluye que el error absoluto del sensor es de 1.58°C con lo que se determina que el sensor es confiable para esta aplicación debido a que para detectar un punto caliente estos generalmente se encuentran por encima de los 10 grados de la temperatura de funcionamiento normal.

Tabla 8-3: Análisis comparativo de la medición de temperatura.

Numero	Temperatura	Temperatura	Error
1	8	6,25	1,75
2	16	14,36	1,64
3	24	22,44	1,55
4	32	30,78	1,22
5	40	38,46	1,54
6	48	46,58	1,42
7	56	54,75	1,25
8	64	62,56	1,44
9	72	70,51	1,49
10	80	77,48	2,52
Media			1,582
Desviación Estándar			0,36672

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.7. Prueba de peso y autonomía del prototipo

El tiempo de autonomía para cualquier drone es inversamente proporcional al peso del mismo, por lo tanto, se tomó 5 muestras comparando la autonomía de vuelo con diferentes pesos adicionales. En la figura 9-3, se ilustra el desarrollo de esta prueba. De la cual se determinó que el peso total máximo seguro es 3.6 kg con una autonomía de vuelo de 12.1 min, cumpliendo con los requerimientos planeados.



Figura 9-3: Desarrollo de pruebas de autonomía y peso.

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

Previo a esta prueba se analizó el peso neto del prototipo que se muestra en la tabla 9-3

Tabla 9-3: Peso del prototipo.

Componente	Peso
Drone completo con protector de hélices	2.150 g
Sistema anticollisiones	350 g
Batería	600 g
Peso total del prototipo	3100 g

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

Los datos de vuelo y comportamiento del prototipo variando el peso adicional de muestran en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Análisis de autonomía y peso adicional óptimo del prototipo.

Numero de muestra	Peso total	Vibración	Autonomía
1	2.1 kg	Mínima	17.5 min
2	2.6 kg	Mínima	15.9 min
3	3.1 kg	Normal	14.8 min
4	3.6 kg	Normal	12.1 min
5	4.1 kg	Excesiva	7.8 min

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.8. Análisis de tiempo de carga de batería del prototipo

Para determinar el tiempo que tarda la batería en cargarse posterior al uso del prototipo se realizó un registro de datos, en la tabla 11-3 se puede ver los tiempos registrados. De acuerdo a los datos el tiempo promedio para cargar la batería del prototipo es 1h 24min 48seg.

Tabla 11-3: Registro de tiempo de carga de batería.

Número de muestra	Tiempo
1	1:26:00
2	1:35:00
3	1:08:00
4	1:23:00
5	1:12:00
6	1:40:00
7	1:33:00

Número de muestra	Tiempo
8	1:25:00
9	1:28:00
10	1:18:00
Promedio	1:24:48

Realizado por: Alex Carrasco, 2018.

3.9. Análisis económico del prototipo

En la tabla 12-3 se realiza un estudio de costos de los componentes que conforman el prototipo, y gracias a los cuales se asegura el correcto funcionamiento del mismo.

Tabla 12-3: Análisis de costo del prototipo

Cant.	Componente	Valor unitario	Valor total
Elementos drone			
1	Batería de lipo Turnigy Graphene 4s 5000mA	120	120
1	Placa controladora de vuelo Naza M Lite + GPS	146	146
6	Variadores de velocidad ESC 40 A	11.20	67.20
6	Motores	12.50	75
6	Hélices de fibra de carbono	3.25	19.50
1	Cargador Balanceador de baterías lipo	65	65
1	Frame o estructura principal	48	48
Elementos estación de monitoreo y comunicación			
1	Transmisor y receptor Flysky FS-i6S	115	115
1	Transmisor y receptor de video RC832	42	42
1	Transceptores de RF HolyBro 915MHz	48	48
2	Transmisor y receptor RF NRF24L01	4.50	9
2	Tarjeta de desarrollo Arduino Nano	8.50	17
1	RaspberryPi Zero	30	30
1	Pantalla nextion 3.5 pulgadas.	35.75	35.75
1	Monitor receptor de video 5.8G.	87.50	87.50
1	Monitor Lcd	45	45
Sistema anticoliciones			
1	Sensor Lidar Lite v3	145	145
2	Lidar TFmini	43	86
1	Micro servomotor TowerPro MG90S	9	9
1	Tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560	16	16
2	Regulador de voltaje LM2596	5.50	11

Cant.	Componente	Valor unitario	Valor total
Dispositivos adicionales			
1	Cámara HD Runcam2	92	92
1	Sensor térmico AMG8833	64.38	64.38
1	Estabilizador de cámara TAROT Gimbal	116.55	116.55
1	Mini Teclado Mouse Inalámbrico USB	18	18
	Impresión 3D	40	40
	Elementos varios	50	50
	Costos adicionales	161.78	161.78
Costo total del prototipo			1779.66

Realizado por: Alex Carrasco, 2018

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla 11-3 de los costos de implementación del prototipo tiene un valor de **1779.66** dólares americanos (USD). Al realizar una comparación con dispositivos comerciales similares se determina que el prototipo implementado es 79.44% más económico.

CONCLUSIONES

- Se construyó un sistema de evasión de obstáculos para un dron aplicado a la inspección en redes de distribución y transmisión para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., basado en tres sensores tipo Lidar capaces de detectar y evitar una colisión con cables, y elementos en las líneas durante una inspección, además posee una transmisión de radiofrecuencia a 2.4 GHz para visualizar datos termo gráficos, de distancia y video en tiempo real.
- Con las pruebas de comprobación de mediciones se evidencia que el sistema anticollisiones puede medir valores de distancia reales, con un error promedio de ± 0.0254 m, que asegura una detección correcta de obstáculos. Además, que al aplicar un filtro de media se reduce el error en un 33%.
- La función de regreso a casa del prototipo establece el radio de error de 1.409m respecto a las coordenadas de despegue, un valor muy bajo tratándose de distancias dentro del globo terráqueo; afirmando que el GPS incorporado es muy confiable y seguro.
- El sistema anticollisiones posterior al análisis de detección de cables respecto al sensor frontal y detección obstáculos para los sensores laterales presenta un rango de detección de 0,60m como distancia mínima y 3.6 m como distancia máxima para cables, y 0.5m como distancia mínima y 2m como distancia máxima en detección lateral, lo que garantiza una correcta detección y evasión de obstáculos y precautela la seguridad del dron al momento de realizar una inspección a la red eléctrica.
- La prueba de rango de comunicación inalámbrica establece 225 m como distancia máxima para la recepción del radiocontrol, 150m para transmisión de video y 500m para transmisión de datos, estas distancias aseguran una calidad buena de transmisión. Sin embargo, una comunicación óptima de cada elemento con el dron se establece en un rango de 0m hasta 150m.
- La autonomía de vuelo del prototipo resulta de un análisis de peso donde se define las restricciones del mismo en un valor máximo de 3.6kg, que garanticen un vuelo sin vibraciones de 12 minutos y una transmisión confiable de datos.
- Al hacer una comparativa de costos de equipos similares con el prototipo implementado resulta 79.44% más económico, además que el sistema anticollisiones construido es modular y puede ser instalado en otro equipo.

RECOMENDACIONES

- Aumentar el ángulo de visión del sistema anticollisiones para obtener una vista completa desde cada ángulo y protección total del prototipo, a su vez emplear algoritmos visión artificial que incorpore nuevas funciones de mapeo 3D.
- Sustituir el sensor térmico, por una cámara termografía profesional de alta resolución, en el mercado existen varios modelos con características ideales para inspecciones de elementos eléctricos, el único inconveniente es que por el momento son muy costosas.
- Modificar el algoritmo de evasión de obstáculos implementando un lazo de control más sofisticado para que el drone reaccione en función del tiempo estimado de colisión aplicando una reducción progresiva de la velocidad de acercamiento al obstáculo.
- Mejorar las antenas de los módulos de transmisión de video que permitan mayores distancias de transmisión para que el drone pueda desplazarse sin problema en lugares de difícil acceso terrestre.
- Analizar la posibilidad de usar baterías de mayor capacidad para mejorar la autonomía de vuelo o a su vez el uso de una fuente de energía que suministre voltaje por medio de cables suspendidos al drone, reduciendo el peso y permitiendo un vuelo continuo por lapsos de tiempo mayores.

BIBLIOGRAFÍA

ADNPI. *Análisis de Raspbian: Programas y Características – ESP Berry.* [blog]. [Consulta: 20 noviembre 2018]. Disponible en: <https://espberry.wordpress.com/2016/03/07/instalar-mis-aplicaciones-en-raspbian/>.

BENEWAKE. *TFmini.* [en línea]. Beijing: [Consulta: 4 noviembre 2018]. Disponible en: www.benewake.com.

BENITEZ, Walter, et al. Development of an UAV prototype for visual inspection of aerial electrical lines. *2016 7th Argentine Symposium and Conference on Embedded Systems, CASE 2016*, pp. 7-12. DOI 10.1109/SASE-CASE.2016.7574095.

BOLTON, William. Sensores y transductores. *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 583. [Consulta: 8 octubre 2018]. ISBN 978-84-267-1632-3. Disponible en: http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/que_es.htm.

BOZA, Juan., et al. Inspección integral de las líneas de transmisión. [en línea]. 2003.S.l.: s.n., [Consulta: 3 octubre 2018]. Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/viewFile/180/178>

BRICOGEEK. *Todo sobre las baterías LiPo.* [blog]. [Consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: <https://blog.bricogeeek.com/noticias/modelismo/todo-sobre-las-baterias-lipo/>.

CÁRDENAS, A. *Sensor Ultrasonico.* [blog]. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <https://electrocrea.com/blogs/tutoriales/33306499-sensor-ultrasonico>.

DEAN MILLER. *Arduino Wiring & Test | Adafruit AMG8833 8x8 Thermal Camera Sensor | Adafruit Learning System.* [en línea]. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <https://learn.adafruit.com/adafruit-amg8833-8x8-thermal-camera-sensor/arduino-wiring-test>.

ECURED. *Conectividad inalámbrica.* [en línea]. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Conectividad_inalambrica.

ERLE ROBOTICS. *Baterías LiPo.* [blog]. [Consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: <https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/es/safety/lipo.html>.

FLUKE CORPORATION. *Fluke* [en línea]. 2017. S.l.: s.n. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es/informacion/mejores-practicass>.

FRANK MECAFENIX. *Servomotor ¿Que es y como funciona?.* [blog]. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/>.

GARMIN. *LIDAR-Lite v3.* [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en: <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/p/557294>.

GÓMEZ, B. *Líneas eléctricas a vista de pájaro.* [en línea]. 2017.[Consulta: 6 diciembre 2017]. Disponible en: http://www.eldiario.es/edcreativo/blogs/tuenergiadecadadia/Estaciones-electricas-vista-pajaro_6_618448166.html.

HELI-SHOP. *GAUI 540H Hexacopter.* [en línea]. [Consulta: 28 septiembre 2018]. Disponible en: https://www.heli-shop.com/GAUI-540H-Hexacopter-Combo-Kit_1.

HELIBOSS. *Guidance.* [blog]. 2018. [Consulta: 3 octubre 2018]. Disponible en: <https://heliboss.co/product/guidance/>.

HERNANDEZ, C. & SARMIENTO, P., *Conceptos de Radiofrecuencia.* [en línea], pp. 4-23. [Consulta: 15 noviembre 2018]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/capitulo1.pdf.

INALÁMBRICAS, T. *Tecnologías Inalámbricas.* [en línea]. 1999. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70218/fichero/2.Tecnologías+Inalámbricas.pdf>.

ITEAD STUDIO. *Home - Nextion.* [en línea]. 2018.[Consulta: 18 noviembre 2018]. Disponible en: <https://nextion.itead.cc/>.

JAIME, A., et al. *Diseño De Un Sensor De Distancia Y Velocidad Basado En Un Sensor Laser Lidar-Lite.* [en línea]. 2016.

JIMENEZ, H., *Sensores.* [en línea]. 2017. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en:

<https://padlet.com/h9jimenez/rwn3kz8fa8zx>.

LAGO CANADAS, Julio. Diseño y control de un de un dron con evasión de obstaculos. (Tesis) Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, España. 2017.

LOREFICE SPARACINO, G. "Nueva tecnología para redes inalámbricas Wi-Fi". *Telematique Revista Electrónica de Estudios Telemáticos* [en línea], 2003a. vol. 2, no. 1856-4194, pp. 15. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: [http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/11136/Nueva tecnología para redes inalámbricas Wi-Fi.pdf?sequence=1](http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/11136/Nueva_tecnología_para_redes_inalámbricas_Wi-Fi.pdf?sequence=1).

LOREFICE SPARACINO, G. Tecnología inalámbrica bluetooth sobre los servicios de comunicaciones en los ámbitos social y empresarial. [en línea], 2003b. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <http://www ldc.usb.ve>.

MANUEL ZAFORAS. *¿Es Python el lenguaje del futuro?* [en línea], 2017. [Consulta: 20 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.paradigmadigital.com/dev/es-python-el-lenguaje-del-futuro/>.

MARTÍNEZ-CARRANZA, J., et al. Detección de obstáculos durante vuelo autónomo de drones utilizando SLAM monocular Obstacle Detection during Autonomous Flight of Drones Using Monocular SLAM. *Research in Computing Science*, vol. 114, pp. 14.

MEZA HERNÁNDEZ, R.M. Trabajos de mantenimiento a líneas de transmisión, 2014, pp. 122.

MOBUS. *¿Que es una batería LiPo?*. [en línea]. 2017. [Consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: <https://mobus.es/blog/que-es-una-bateria-lipo/>.

MULTICOPTERO. *DJI S900* [en línea]. 2017. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.multicoptero.com/es/tienda-on-line/dji/dji-s900/dji-s900-wkm/>.

NAYLAMP. *Convertidor Voltaje DC-DC Step-Down 3A LM2596*. [en línea]. 2018. Perú. [Consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>.

OJEDA, L.T. *Arduino nano*. [en línea]. 2017.[Consulta: 27 septiembre 2018]. Disponible en:

<http://arduino.cl/arduino-nano/>.

PENAGOS, W. *Sightline Maps, el desarrollo científico en web*. [en línea], 2018, Colombia. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <http://mprende.co/tecnológico/sightline-maps-el-desarrollo-científico-en-web>.

POYATO, R. Termografía en sistemas de distribución eléctrica eléctrica. *Dpto. soporte técnico de Fluke Ibérica*, (2010),pp. 139-140.

Product Manual of TFmini. [en línea]. 2018. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: https://www.robotstore.it/rsdocs/documents/sensore_distanza_TFmini-Lidar_manuale.pdf

QUANERGY SYSTEMS. *S3 Lidar Solid State*. [en línea]. 2016. [Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <https://quanergy.com/s3/>.

RC INNOVATIONS. *DJI Naza Lite v1.1 con GPS, PMU y LED*. [en línea]. 2018. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <https://rc-innovations.es/DJI-Naza-M-Lite-GPS-controladora-vuelo>.

ROS COMPONENTS. *TeraRanger Tower*. [en línea]. 2016.[Consulta: 8 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.roscomponents.com/es/lidar-escaner-laser/159-teraranger-tower.html>.

RUNCO. *DJI Matrice 200 Series* [en línea]. 2017. S.l.: s.n. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.runco.com.ar/DJI-Matrice-200-Series.html>.

SABATINI, R., et al. A Laser Obstacle Warning and Avoidance System for Unmanned Aircraft Sense-and-Avoid. *Applied Mechanics and Materials* [en línea], 2014, vol. 629, no. 4, pp. 355-360. ISSN 1662-7482. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMM.629.355. Disponible en: <http://www.scientific.net/AMM.629.355>.

SANTANA, E. *Tipos de drones*. [blog]. 2017. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion>

SCCS SURVEY. *MULTIROTOR G4 Surveying Robot* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.sccsurvey.co.uk/multirotor-g4-surveying-robot.html>.

SCHOROTH, F. *Aerialtronics Announces PENSAR, Dual Spectrum Computer Vision Platform Integrating FLIR Boson* [blog]. 2017. [Consulta: 2 octubre 2018]. Disponible en: <https://dronelife.com/2017/06/20/aerialtronics-announces-pensar-worlds-first-dual-spectrum-computer-vision-platform/>.