



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE
COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“SISTEMA DE CAPTURA DE IMÁGENES PANORÁMICAS MEDIANTE UN
VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DRONE) PARA EL DEPARTAMENTO DE
COMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”**

AUTOR: ANA ELIZABETH MORALES CHICAIZA

DIRECTOR: Msc. EDGAR MAYA

Ibarra-Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003317581		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Morales Chicaiza Ana Elizabeth		
DIRECCIÓN:	Otavalo, Cdma. Vitelma Dávila		
EMAIL:	aemorales@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELÉFONO MÓVIL	0979571179
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“Sistema de captura de imágenes panorámicas mediante un vehículo aéreo no tripulado (drone) para el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.”		
AUTOR:	Ana Elizabeth Morales Chicaiza		
FECHA:	Julio de 2017		
PROGRAMA:	Pregrado		
TÍTULO :	Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación		
ASESOR/DIRECTOR:	Msc. Edgar Maya		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Ana Elizabeth Morales Chicaiza con cédula de identidad Nro.1003317581, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Yo, Ana Elizabeth Morales Chicaiza declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se presentan en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, julio de 2017.

Firma.....

Nombre: Ana Elizabeth Morales Chicaiza

CI: 100331758-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Ana Elizabeth Morales Chicaiza, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: “SISTEMA DE CAPTURA DE IMÁGENES PANORÁMICAS MEDIANTE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DRONE) PARA EL DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.”, Que ha sido desarrollado con propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, julio de 2017.

Firma.....

Nombre: Ana Elizabeth Morales Chicaiza

CI: 100331758-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Ana Elizabeth Morales Chicaiza con cédula de identidad Nro. 100331758-1, estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, libre y voluntariamente declaro que el presente trabajo de investigación, es de mi autoría y no ha sido realizado, ni calificado por otro profesional, para efectos académicos y legales será de mi responsabilidad.

Firma.....

Nombre: Ana Elizabeth Morales Chicaiza

CI: 100331758-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER EDGAR MAYA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN
CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “SISTEMA DE CAPTURA DE IMÁGENES PANORÁMICAS MEDIANTE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DRONE) PARA EL DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.” ha sido realizada en su totalidad por: ANA ELIZABETH MORALES CHICAIZA bajo mi supervisión:

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Msc. Edgar Maya
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, María Chicaiza y Alfonso Morales, que han sido mi apoyo y pilar fundamental a lo largo de mi vida personal y estudiantil, sin los cuales no habría podido cumplir mis metas.

A mi hermano, Darwin que siempre ha estado junto a mi siendo mi apoyo incondicional, su carácter fuerte y sus innumerables ocurrencias han llenado mi vida de alegría y numerosos recuerdos de felicidad.

A mis amigos, con los cuales he compartido momentos de alegría y tristeza que nos han unido y llevado a crear una bonita amistad y que siempre me han brindado su apoyo y confianza.

A mi querida amiga, María José Medina (+), aunque el destino y la vida no quisieron que estuvieras presente en mi vida en estos momentos siempre estarás en mi mente y mi corazón como mi mejor amiga y compañera.

Ana Elizabeth Morales Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera muy especial a la Universidad Técnica del Norte por haberme acogido como una de sus estudiantes y brindarme las herramientas y docentes capacitados durante mi formación académica, inculcándome además valores éticos, morales y profesionales que serán de mucha utilidad en mi vida.

De igual manera agradezco a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas “FICA” y a la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación “CIERCOM”, a sus autoridades, personal administrativo y docentes, que trabajan día a día para que la formación académica de nosotros los estudiantes sea la mejor.

Agradezco de manera muy especial al Msc. Edgar Maya por haber dedicado su tiempo, paciencia y ayuda en la elaboración del presente documento además de haber compartido valiosos conocimientos y consejos que han sido de vital importancia para la culminación del mismo.

Al Ing. Jaime Michilena y a todos los docentes que han compartido sus conocimientos y experiencias, además de brindar su ayuda dentro y fuera del aula de clase.

Al departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte por permitirme realizar este proyecto en sus instalaciones en especial a la Ing. Paola Tirira y al Ing. Christian Enríquez por brindarme su ayuda y apoyo, sin los cuales este proyecto no hubiera sido posible.

Ana Elizabeth Morales Chicaiza

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	I
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	III
DECLARACIÓN	IV
CERTIFICACIÓN	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIX
RESUMEN	XXVII
ABSTRACT.....	XXIX
CAPÍTULO I	1
1 ANTECEDENTES	1
1.1 Problema.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.	3

VIII

1.3.2	Objetivos Específicos.....	4
1.4	Alcance.....	4
CAPÍTULO II.....		6
2	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
2.1	Vehículos aéreos no tripulados.....	6
2.1.1	Modos de operación.....	7
2.1.1.1	Modo manual.....	7
2.1.1.2	Modo asistido.....	7
2.1.1.3	Modo automático.....	7
2.1.1.4	Modo autónomo.....	8
2.1.2	Aplicación al Periodismo.....	8
2.1.3	Clasificación basada en infraestructura.....	9
2.1.3.1	Drones aficionados.....	9
2.1.3.2	Aviones militares y comerciales de tamaño medio.....	10
2.1.3.3	Específicamente grandes aviones militares.....	10
2.1.3.4	Aviones de combate.....	10
2.1.4	Principales componentes de un dron.....	11
2.1.4.1	Marco o frames.....	11
2.1.4.2	Motores.....	12

2.1.4.3	Hélices.	12
2.1.4.4	ESCs.	13
2.1.4.5	Estabilizador de vuelo.	13
2.1.4.6	Control remoto.....	14
2.1.4.7	Baterías.	14
2.1.5	Modelos de vehículos aéreos no tripulados.....	15
2.1.5.1	Multirrotores.....	15
2.1.5.2	Helicópteros.....	16
2.1.5.3	Ala Fija.....	17
2.2	Leyes y reglamentos establecidos por la Dirección General de Aviación Civil de Ecuador.....	18
2.3	Cámaras de bajo peso y pequeñas dimensiones.....	19
2.3.1	Cámaras GoPro.....	19
2.3.2	Cámara JVC Adixxion.....	20
2.3.3	Cámara Mobius e Innovv.....	20
2.3.4	Cámaras de Arducam.....	21
2.4	Red inalámbrica.....	21
2.4.1	Características.	22
2.4.2	Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas.	22

2.4.3	Clasificación.....	23
2.4.3.1	Topología Punto a punto.....	23
2.4.4	Módulos inalámbricos.....	24
2.5	Comunicación Microondas.....	25
2.5.1	Características principales.....	25
2.5.2	Enlace microondas.	25
2.5.2.1	Ventajas y desventajas de los enlaces microondas.....	26
2.6	Hardware de código abierto.....	28
2.6.1	Objetivo del hardware libre.....	28
2.7	Arduino.....	29
2.7.1	IDE (Entorno de Desarrollo Integrado).....	30
2.7.2	Módulos de Arduino.....	32
CAPÍTULO III.....		36
3	DISEÑO DEL SISTEMA	36
3.1	Análisis de la Situación Actual.....	36
3.1.1	Equipo de la unidad móvil utilizado para los enlaces microondas.	39
3.1.1.1	Enlace De Microondas Portatil G. Com Bl 200m 2.4ghz S/N 08060052t/08060052r Complete Sintetized Portable Tv Link Composed By:8w Nom Transmitter, Receiver; 2x0.6mt Parabolics, 2 Outdoor Waterproof Boxes, Capacity 1 Video, 1 Audio.	40

3.1.1.2	Frame para Tarjetas Análogas Audio y Video Link Electronics Pfm 210	40
3.1.1.3	Convertor análogo-digital	41
3.1.1.4	Switch De Video Datavideo Se 800.	42
3.1.1.5	Sony Lmd 4420-Modulo de 4 Monitores Lcd.	43
3.1.1.6	Fuente de poder pyramid.	44
3.1.1.7	Video casetera Hdv Sony Hvr-M15an.....	44
3.2	Aspectos básicos de diseño basado en el estándar ISO / IEC / IEEE 29148: 2011....	45
3.2.1	Propósito del sistema.....	45
3.2.2	Perspectiva del diseño.	45
3.2.2.1	Interfaces del sistema.....	46
3.2.2.2	Interfaz del usuario.	46
3.2.2.3	Interfaz de hardware.	46
3.2.3	Función del Sistema.	47
3.2.4	Características del usuario.....	47
3.2.5	Características del espacio de trabajo.....	48
3.2.5.1	Limitaciones.	49
3.2.6	Requerimientos del sistema.....	50
3.3	Selección de Hardware.	58
3.3.1	Vehículos aéreos no tripulados.	58

3.3.1.1	Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.....	60
3.3.2	Módulos cámaras.....	62
3.3.2.1	Módulo cámara OV2640.	64
3.3.2.2	Escudo ArduCAM Rev.C.....	65
3.3.3	Placa de Procesamiento Arduino.....	67
3.3.3.1	Placa de procesamiento Arduino Mega 2560.	69
3.3.3.2	Placa de procesamiento Arduino Leonardo.....	70
3.3.4	Módulos de comunicación inalámbrica.....	71
3.3.4.1	Módulo de comunicación inalámbrica Bluetooth RN-41	73
3.3.5	Peso aproximado del sistema.	74
3.4	Arquitectura de diseño.....	76
3.4.1	Diagrama de bloques del sistema.....	76
3.4.2	Diagramas de flujo.	77
3.4.2.1	Diagrama de Flujo del IU	77
3.4.2.2	Diagrama de Flujo del CC.....	78
3.4.3	Diagrama de conexión.....	81
3.5	Integración de los componentes del prototipo.....	82
3.5.1	Elementos indicadores del prototipo.	82
3.5.1.1	Luces led del drone Hubsan X4 PRO.....	82

3.5.1.2	Eje Cardán.	83
3.5.1.3	Establecimiento de conexión entre el CC e IU.....	84
3.5.1.4	Programa de recepción de imágenes.	85
3.5.2	Ubicación de los elementos en el CC.....	85
3.5.2.1	Ubicación de la placa procesadora y del escudo Arducam.	86
3.5.2.2	Ubicación del módulo de capturas.....	86
3.5.2.3	Ubicación del módulo de comunicación.	87
3.5.3	Colocación del eje cardán y conexión de los elementos	88
3.5.4	Ubicación de los elementos en el IU.....	88
3.6	Pruebas y resultados de funcionamiento del Prototipo.....	89
3.6.1	Etapas de prueba.....	89
3.6.1.1	Sección 1.....	91
3.6.1.2	Sección 2.....	93
3.6.1.3	Sección 3.....	94
3.6.1.4	Sección 4.....	96
3.6.1.5	Sección 5.....	100
CAPÍTULO IV.....		104
4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	104
4.1	Procesos y Funcionamiento.....	104

4.1.1	Protocolo de pre-condiciones de uso.....	104
4.1.1.1	Condiciones externas.....	104
4.1.1.2	Protocolo “Piloto- Operador”.....	105
4.1.2	Protocolo de vuelo.....	106
4.1.3	Protocolo de post-condiciones.	107
4.2	Descripción de los actores.	107
4.2.1	Piloto.	107
4.2.2	Operador.....	108
4.2.3	Desarrollador.....	109
4.3	Casos de uso.	110
4.3.1	Circunstancias limitantes de uso.	110
4.4	Conexión equipos de transmisión microondas.	111
4.4.1	Conexión switch de video y monitores.	112
4.4.2	Conexión frame para tarjetas análogas.....	113
4.4.3	Conexión conversor análogo digital.....	113
4.4.4	Conexión de la antena transmisora a la caja exterior.	115
4.5	Ubicación de las antenas de trasmisión microondas.	116
4.5.1	Antena transmisora.....	116
4.5.2	Antena Receptora	118

4.6	Implementación del sistema de captura de imágenes	120
CAPÍTULO V		126
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1	Conclusiones.....	126
5.2	Recomendaciones	128
BIBLIOGRAFÍA		130
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		133
ANEXOS		136
ANEXO 1: Resolución N°251 de la Dirección General de Aviación Civil		136
ANEXO 2: Formulario de la entrevista realizada a la Ing. Paola Tirira.....		139
ANEXO 3: Manual de ensamblaje del Drone Hubsan X4 PRO.....		140
ANEXO4: Manual de uso del Drone Hubsan X4 PRO		145
ANEXO 5: Manual de vuelo del Drone Hubsan X4 PRO.....		151
ANEXO 6: Configuración de los Módulos Bluetooth RN-41		155
ANEXO 7: Utilización del programa de recepción de imágenes		164
ANEXO 8: Código de programación del sistema de captura de imágenes		167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de las redes inalámbricas	22
Tabla 2. Clasificación de las Redes Inalámbricas en función de su cobertura geográfica	23
Tabla 3. Tabla comparativa entre las ventajas y desventajas de los enlaces microondas.....	27
Tabla 4. Placas de Procesamiento Arduino.....	34
Tabla 5. Método y formato para el levantamiento de información de la situación actual	36
Tabla 6. Requerimientos de funciones del sistema.....	52
Tabla 7. Requerimientos de arquitectura del sistema	54
Tabla 8. Requerimientos de Stakeholders.....	57
Tabla 9. Tabla de vehículos aéreos no tripulados	59
Tabla 10. Selección del vehículo aéreo no tripulado en función de los requerimientos del sistema	60
Tabla 11. Tabla de módulos Arducam Ominivisión.....	62
Tabla 12. Tabla de selección del módulo de captura de imágenes	64
Tabla 13. Placas de Procesamiento Arduino.....	67
Tabla 14. Tabla de selección de las placas de procesamiento para el CC y el IU	68
Tabla 15. Tabla comparativa de módulos de comunicación inalámbrica.....	72
Tabla 16 Selección del módulo de comunicación inalámbrica en función de los requerimientos del sistema.....	73

Tabla 17. Elementos electrónicos ubicados en el vehículo aéreo no tripulado con sus respectivos pesos.....	75
Tabla 18. Cronograma de desarrollo de las pruebas de funcionamiento del Sistema de Captura de Imágenes	90
Tabla 19. Condiciones presentes en el momento de realizar la prueba de vuelo del vehículo aéreo no tripulado	98
Tabla 20. Tabla de circunstancias limitantes de uso.....	110
Tabla 21. Condiciones de vuelo del vehículo aéreo no tripulado Husban X4 PRO	120
Tabla 22. Comandos utilizados para la configuración del módulo bluetooth RN-41 en modo esclavo.....	160
Tabla 23. Comandos utilizados para la configuración del módulo bluetooth RN-41 en modo maestro	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de vehículos aéreos no tripulados en base a su infraestructura	9
Figura 2. Marco o Frame de un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricoptero, modelo Hubsan X4 PRO.....	11
Figura 3. Motor brushless de un vehículo aéreo no tripulado.....	12
Figura 4. Juego de hélices del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4PRO	13
Figura 5. ESC de un vehículo aéreo no tripulado	13
Figura 6. Estabilizador de vuelo de un vehículo aéreo no tripulado.....	14
Figura 7. Control remoto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.....	14
Figura 8. Bateria perteneciente al vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.....	15
Figura 9. Ejemplo de un vehículo aéreo no tripulado del tipo cuadricoptero perteneciente al modelo multirrotores	16
Figura 10. Ejemplo de un vehículo aéreo no tripulado del modelo helicóptero	17
Figura 11. Ejemplo de un vehículo aéreo no tripulado del modelo de Ala Fija	17
Figura 12. Modelos de cámaras GoPRO.....	20
Figura 13. Cámara JVC Adixxion	20
Figura 14. Modelos de la cámara Innovv.....	21
Figura 15. Ejemplo de un módulo tipo cámara de Arducam	21
Figura 16. Topología Inalámbrica punto a punto.....	24
Figura 17. Ejemplos de módulos electrónicos para la elaboración de redes inalámbricas	24

Figura 18. Enlace microondas terrestre entre una estación receptora y una estación transmisora	26
Figura 19. Logotipo de Arduino Open-Source	29
Figura 20. Entorno gráfico del programa IDE de Arduino.....	31
Figura 21. Antenas de transmisión y recepción del enlace microondas junto a sus respectivas cajas exteriores.....	40
Figura 22. Frame para Tarjetas Análogas Audio y Video Link Electronics Pfm 210	41
Figura 23. Conversor análogo-digital	41
Figura 24. Parte superior y posterior del Switch De Video Datavideo Se 800.....	42
Figura 25. Módulo de 4 monitores LCD.....	43
Figura 26. Fuente de Poder Pyramid.....	44
Figura 27. Video casetera Hdv Sony Hvr-M15AN	44
Figura 28. Características del piloto del vehículo aéreo no tripulado.....	48
Figura 29. Limitaciones de vuelo del vehículo aéreo no tripulado.....	50
Figura 30. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO	61
Figura 31. Módulo cámara OV2640	65
Figura 32. Escudo ArduCAM Rev.C +.....	66
Figura 33. Placa de Procesamiento Arduino MEGA 2560	70
Figura 34. Placa de Procesamiento Arduino MEGA 2560.....	71
Figura 35. Módulo Bluetooth RN-41	74

Figura 36. Diagrama de bloques del sistema	76
Figura 37. Diagrama de bloques correspondiente al IU	78
Figura 38. Diagrama de flujo correspondiente al CC	80
Figura 39. Diagrama de conexión correspondiente al CC	81
Figura 40. Diagrama de conexión correspondiente al IU	82
Figura 41. Luces Led del drone Hubsan X4 PRO	83
Figura 42. Eje cardán ubicado en el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO	84
Figura 43. Establecimiento de conexión entre el CC e IU.....	84
Figura 44. Programa de recepción de imágenes	85
Figura 45. Ubicación de la placa Arduino Mega 2640 y del escudo Arducam en el armazón del eje cardán	86
Figura 46. Ubicación del módulo OV2640 en los pines de conexión del escudo Arducam.....	87
Figura 47. Ubicación del módulo de comunicación inalámbrica	87
Figura 48. Alimentación del eje cardán y el CC.....	88
Figura 49. Ubicación de los elementos correspondientes al IU.....	89
Figura 50. Fotograma captado en horas de la mañana.....	91
Figura 51. Fotograma captado a medio día.....	92
Figura 52. Fotograma captado en horas de la tarde	92
Figura 53. Visualización del fotograma transmitido desde el CC al IU	94

Figura 54. Movimiento del eje cardán visto desde la parte frontal.....	95
Figura 55. Conexión de la batería Li-Po del vehículo aéreo no tripulado para realizar el vuelo de prueba.....	96
Figura 56. Comprobación de los motores y requisitos previos a la realización del vuelo del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.....	97
Figura 57. Control del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO “UP-DOWN”.....	99
Figura 58. Control del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO “DELANTE-ATRÁS”... ..	100
Figura 59. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC y listo para realizar la prueba de vuelo	101
Figura 60. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC durante el vuelo	102
Figura 61. Fotograma capturado y transmitido desde el CC al IU mediante comunicación inalámbrica.....	103
Figura 62. Software de captura de imágenes	106
Figura 63. Piloto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.....	108
Figura 64. Operador del sistema	109
Figura 65. Equipos pertenecientes al canal universitario para realizar la transmisión microondas	112
Figura 66. Conexión entre el switch de video y el monitor A	112
Figura 67. Conexión del frame de tarjetas análogas al switch de video y la caja exterior	113
Figura 68. Conversor análogo.....	113

Figura 69. Conexión de los equipos requeridos para realizar la transmisión de los fotogramas vía microondas.....	114
Figura 70. Transmisión de la imagen de la PC al monitor ubicado en el switch de video	114
Figura 71. Caja exterior y antena transmisora de la señal microondas.....	115
Figura 72. Conexión de la caja externa a la red eléctrica	115
Figura 73. Caja externa con sus debidas conexiones a una fuente de alimentación, al frame de tarjetas análogas y ala antena transmisora	116
Figura 74. Movimiento de la antena transmisora en dirección a la antena receptora.....	117
Figura 75. Visualización de la imagen transmitida desde la PC perteneciente al IU al servidor master	117
Figura 76. Ubicación inicial de la antena receptora del enlace microondas en dirección oeste. .	118
Figura 77. Ubicación final de la antena receptora del enlace microondas en dirección noreste	119
Figura 78. Visualización de la imagen transmitida desde la PC al servidor master con el nuevo direccionamiento de la antena receptora.....	119
Figura 79. Piloto del vehículo aéreo no tripulado durante el tiempo de vuelo	121
Figura 80. Operador del IU durante la etapa de implementación del sistema	122
Figura 81. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC durante el vuelo	122
Figura 82. Fotograma recibido en el software de recepción de imágenes	123
Figura 83. Imágenes captadas por el sistema de captura de imágenes	124

Figura 84. Fotograma enviado desde el IU hasta los monitores ubicados en las instalaciones del edificio central	124
Figura 85. Imagen capturada por el sistema de captura de imágenes y recibida en el servidor master	125
Figura 86. Manera correcta de cargar la batería Li-Po	140
Figura 87. Ubicación de las pilas en el control remoto.....	141
Figura 88. Calibración del control remoto del vehículo aéreo no tripulado	141
Figura 89. Hélices tipo A y B pertenecientes al dron Hubsan X4 PRO.....	142
Figura 90. Explicación de la simbología de las hélices	142
Figura 91. Utilización de la llave de extracción para bloquear o desbloquear las hélices.....	143
Figura 92. Sentido que las hélices deben seguir para ser bloqueadas.....	143
Figura 93. Instalación del protector de hélices Hubsan X4 PRO	144
Figura 94. Colocación del collar de seguridad al control remoto	145
Figura 95. Compartimiento de la batería Li-Po y la correcta polarización de conexión	146
Figura 96. Visualización del estado de la batería Li-Po del vehículo aéreo no tripulado.....	147
Figura 97. Sensor de magnetismo terrestre del vehículo aéreo no tripulado	147
Figura 98. Lectura del sensor “Magnetismo Terrestre”	148
Figura 99. Calibración del Compass 1 del dron Hubsan X4 PRO.....	148
Figura 100. Calibración del Compass 2 del dron Hubsan X4 PRO.....	149
Figura 101. Calibración completa del dron Hubsan X4 PRO.....	150

Figura 102. a. Número de GPS incompleto e imposible de realizar el vuelo	150
Figura 103. Encendido o apagado del vehículo aéreo no tripulado	151
Figura 104. Control de niveles del vehículo aéreo no tripulado	152
Figura 105. Control adelante y atrás del vehículo aéreo no tripulado	152
Figura 106. Control derecha e izquierda del vehículo aéreo no tripulado	153
Figura 107. Control de giro del vehículo aéreo no tripulado	154
Figura 108. Control del eje cardán del vehículo aéreo no tripulado	154
Figura 109. Conexión del módulo bluetooth RN-41 para su configuración.....	155
Figura 110. Agregar un dispositivo Bluetooth.....	156
Figura 111. Detección de dispositivos bluetooth para realizar el emparejamiento con la PC....	156
Figura 112. Solicitud de acceso del dispositivo bluetooth.....	157
Figura 113. Emparejamiento exitoso del módulo bluetooth a la PC	157
Figura 114. Visualización del puerto COM del módulo bluetooth	158
Figura 115. Selección del puerto COM del módulo bluetooth en el programa Tera Term	158
Figura 116. Ventana de configuración del programa Tera Term.....	159
Figura 117. Visualización de la configuración realizada en el módulo bluetooth RN-41 en modo esclavo.....	161
Figura 118. Visualización de la configuración realizada en el módulo bluetooth RN-41 en modo maestro.....	163
Figura 119. Selección del puerto COM	164

Figura 120. Selección de la velocidad de transmisión de los fotogramas	164
Figura 121. Selección de la opción Save Image	165
Figura 122. Selección de la opción Save Image	165
Figura 123. Recepción del fotograma.....	166

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño de un sistema de captura de imágenes con utilización de un vehículo aéreo no tripulado (drone) y tecnología Open-Source para la captura y envío de fotogramas a una interfaz de usuario, además de la utilización de equipos microondas para el envío de los fotogramas al servidor master ubicado en el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte. Este proyecto beneficiará en primera instancia al canal universitario, permitiendo el uso de los fotogramas obtenidos para la ampliación o creación de nuevo contenido informativo para la casona universitaria.

Para el desarrollo del presente proyecto se procedió a realizar un análisis teórico de las diferentes tecnologías que intervienen en el sistema, así como de las normativas que rigen actualmente en el país con respecto a los vehículos aéreos no tripulados, además se realizó una investigación acerca de los posibles elementos y dispositivos electrónicos que intervienen en el sistema.

El diseño del sistema de captura de imágenes se realizó en base al Estándar IEEE 29148. Donde se establecen los aspectos básicos, como lo es perspectiva de diseño, propósito, función del sistema entre otros, además de la realización de las tablas correspondientes a los requerimientos funcionales, de arquitectura y de stakeholders, que sirven de base para la selección de los componentes. Por último, el diseño que compete a la lógica de funcionamiento del sistema se encuentra plasmado en los diferentes diagramas.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en función de un cronograma de actividades, donde se probó el funcionamiento de los componentes, una vez culminado este proceso se procedió a la implementación del sistema con el enlace microondas del departamento de comunicación, en esta fase se pudo evidenciar la transmisión exitosa de los fotogramas captados mediante el sistema

de captura de imágenes al servidor master ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

ABSTRACT

The objective of this research is to design an image capture system using an unmanned aerial vehicle (drone) and Open-Source technology to capture and send the frame to the user's interface, as well as Microwave equipment to send the frames to the master server located in the communication department of "Técnica del Norte" University. In the first instance, this project will benefit to the university channel, allowing the use of obtained frames for the amplification or creation of new information content for the university.

For the development of this project, a theoretical analysis of the different technologies involved in the system and the regulations currently governing in the country respect to unmanned aerial vehicles was carried out. In addition, a research about the possible elements and electronic devices involved in the system was carried out.

The design of the image capture system was based on the IEEE 29148 Standard, it establishes the basic aspects, such as the design for capturing frames, purpose, function of systems among others, besides the implementation of the tables about the functional requirements of architecture and stakeholders, which serve as the basis to select components. Finally, the design corresponds to the logic of the systems, embodied in the different diagrams.

The functional tests were performed according to a schedule of activities, where the operation of the components was tested, once this process was completed, the system was implemented with the microwave link of the communication department. The successful transmission of images by means of the image capture system and it is transferred to the master server, it is located in the Communication Department of "Técnica del Norte" University.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

Este capítulo abarca temas puntuales como lo son el problema, justificación, alcance, objetivos generales y específicos los cuales sirvieron como fundamento para el establecimiento y delimitación del tema del presente trabajo.

1.1 Problema

Actualmente el canal universitario presenta la necesidad de realizar la captura de imágenes desde distintos ángulos de vista, debido a esta situación su personal se ve involucrado en una serie de maniobras para poder conseguir una buena toma desde determinados puntos, en algunos casos inclusive se ven en la obligación de subir hasta las terrazas o sitios elevados para realizar una toma idónea, la necesidad de capturas de imágenes aéreas para visualizar el estado actual de determinadas zonas es un requerimiento que los televidentes actualmente necesitan para ver cómo están determinados sectores en ciertas horas, requerimientos que el canal universitario no puede cumplir a su totalidad por la falta de un sistema que le permita realizar esto.

El método de captura de imágenes panorámicas que ha sido empleado en el canal universitario siendo uno de los departamentos más importantes de la Universidad Técnica del Norte no está acorde a los avances tecnológicos, cumple la función de informar las actividades académicas y extracurriculares que la institución realiza, anteriormente su perspectiva para la captura de imágenes se veía limitada por las capacidades de acceso del personal a determinadas zonas, motivo por el cual sus servicios de información en tiempo real se ven reducidos a ciertas áreas de información.

En estos momentos nos encontramos en una época en la cual la tecnología está abarcando campos cada vez más grandes en la vida de las personas, este es el caso de los vehículos aéreos no tripulados UAV o también conocidos como drones, los mismos que permiten realizar acciones en las cuales el ser humano no puede estar presente físicamente, como es la toma de imágenes desde el aire y con distintos ángulos de captura, siendo esta la idea principal, lo que se plantea es un sistema de captura de imágenes desde el aire en tiempo real con su posterior almacenamiento en un servidor ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

Se puede decir que el método actual que utiliza en el canal universitario para la captura de imágenes restringe la producción de contenido informativo para los televidentes, con lo que se presenta la necesidad de nuevos mecanismos para la misma, permitiendo la realización de un sistema que cubra las actuales necesidades e innove en esta área mediante la utilización un vehículo aéreo no tripulados (UAV).

1.2 Justificación

El proyecto está definido para ser implementado dentro del departamento de comunicación social de la Universidad Técnica del Norte (Canal Universitario), con lo cual se prevé que el sistema abarque las necesidades para la generación de nuevo contenido informativo mediante la captura de imágenes desde ángulos aéreos, con esto el departamento posibilita que la información sea transmitida a los televidentes o usuarios, siendo los beneficiarios finales del sistema debido a que se informan gráficamente de distintos eventos que ocurren dentro de la ciudad.

Tomando en cuenta las características técnicas como tiempo de vuelo, consumo de energía, estabilidad durante un vuelo continuo, interoperabilidad con otros sistemas, capacidad de carga que poseen los vehículos aéreos no tripulados es considerado como una herramienta para la captura de imágenes.

Los UAV al ser una tecnología que navegará dentro del espacio aéreo ecuatoriano se rigen a normas y estatutos que regulan su vuelo, actualmente en el Ecuador esta norma no se encuentra vigente por tal razón el proyecto se basará en las normas establecidas por la FAA (Administración Federal de Aviación) de Estados Unidos.

Comparando al sistema con el vuelo de un helicóptero para la captura de imágenes su costo es ampliamente reducido debido a que solo se presenta un solo operario, el consumo de energía es mínimo, cumple con las mismas funciones sus componentes son relativamente baratos acotando esto el sistema contiene un determinado tiempo de vuelo acorde a las necesidades planteadas, con esto el sistema se convierte en una herramienta útil a bajo costo que posibilita su obtención al departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte, de esta manera se logra realizar capturas aéreas sin la necesidad de usar aeronaves.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Implementar un sistema de capturas de imágenes mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulados (UAV) con la transmisión de los datos vía microondas a un servidor ubicado en las

instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte para la generación de nuevo contenido en imágenes aéreo terrestres.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Investigar las características y manejo de un vehículo aéreo no tripulados (UAV) basándose en sus protocolos de vuelo según la ley.
- Definir el proceso de captura de imágenes mediante un dispositivo que permita la toma de las mismas.
- Diseñar el sistema de transmisión inalámbrica entre el dispositivo aéreo y la base operaria.
- Aplicar el sistema de transmisión vía microondas con el que cuenta el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte para la transmisión de datos.
- Implementar el modelo de capturas de imágenes con el vehículo aéreo no tripulados (UAV) para el envío y almacenamiento de la información.
- Verificar la funcionalidad en la captación de imágenes y su disponibilidad para uso de las mismas por el canal universitario.

1.4 Alcance

Se plantea implementar un sistema de capturas de imágenes panorámicas en formato 720x 480 en zonas urbanas en horas diurnas y para el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte mediante la aplicación de un vehículo aéreo no tripulado el cual constará de una

cámara, un procesador de imágenes y un módulo de transmisión para el envío de los datos al receptor el que poseerá la capacidad de control y dirección del vehículo no tripulado y del módulo de captura de imágenes basado en open-source, con esto el operario mantendrá una autonomía de movimiento y verificación de forma visual la ubicación del drone, en si esto permite aumentar el ángulo de captura para la toma de distintos ángulos e incluir la generación de nuevo contenido.

La transmisión de los datos será realizada por un módulo de comunicación inalámbrica basado en open-source desde el drone al operario esto implica que se realizará una red inalámbrica punto a punto con dos módulos de comunicación, los datos serán enviados vía microondas a un servidor ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte por medio de una infraestructura con la que cuenta el departamento de comunicación.

Se realizará un manual de vuelo del vehículo aéreo no tripulado para el operario en la cual se indicará las normas y reglamentos a seguir al momento del vuelo el cual estará fundamentado en base a los reglamentos establecidos por la FAA (Administración de Aviación Civil) de los Estados Unidos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo se desarrolla la base teórica que fundamenta el proyecto, los componentes que intervienen en el presente como lo son: vehículos aéreos no tripulados, módulos de captura de imágenes, módulos de comunicación inalámbrica y la plataforma de desarrollo basada en tecnología open-source.

2.1 Vehículos aéreos no tripulados

Un vehículo aéreo no tripulado (UAV) o también denominado drone es un vehículo pilotado mediante control remoto, en un inicio estos vehículos eran únicamente utilizados con fines militares en misiones de vigilancia o ataque sin embargo en la actualidad el uso de estas aeronaves se ha expandido considerablemente para diversas aplicaciones de uso civil que pueden ir desde las inspecciones en infraestructuras hasta el uso para el esparcimiento o diversión.

“Los UAV son también sistemas autónomos que pueden operar sin intervención humana alguna durante su funcionamiento en la misión a la que se haya encomendado, es decir, pueden despegar, volar y aterrizar automáticamente” (Chicaiza & Chuchico, 2015, p.5).

Por otro lado, en países más avanzados se están impulsando diferentes proyectos de investigación con este tipo de aeronaves no tripuladas, que abarcan desde el ensayo de material aeronáutico en condiciones peligrosas de hielo, viento, lluvia intensa, etc., hasta el desarrollo de tecnologías concretas como son las pilas de combustible de hidrógeno que permitirían triplicar la duración de los vuelos, etc. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid , 2015, p.14)

2.1.1 Modos de operación.

La mayoría de los drones se controlan por radio control, sin embargo, algunos también pueden ser controlados y programados mediante una tablet o un smartphone. Cabe recalcar que esta clase de aeronaves no necesitan una entrada constante de datos por parte del operador y “pueden ser capaces de volar en forma autónoma sobre la base de planes de vuelo preprogramados usando sistemas complejos de automatización dinámica” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid , 2015,p.14).

Se puede decir que sólo existen cuatro modos de operación posibles en cuanto a la forma de pilotear una aeronave de forma remota, las cuales se mencionarán a continuación:

2.1.1.1 Modo manual.

En este modo, el piloto remoto actúa sobre las superficies de control y la potencia del motor o motores, a través de una emisora de radiocontrol.

2.1.1.2 Modo asistido.

Es similar al modo manual, pero el piloto remoto no actúa directamente sobre las superficies de control o los motores, sino que indica sus intenciones (girar a la derecha, subir, etc.) en su puesto de radiocontrol y actúa un autopiloto que las transforma en actuaciones sobre las superficies de control o los motores que consigan ese propósito.

2.1.1.3 Modo automático.

El piloto remoto establece un «plan de vuelo», es decir, un cierto número de puntos de paso de forma previa al inicio del vuelo. La aeronave cuenta con un autopiloto que ejecuta el plan previsto, realizando de forma automática las acciones requeridas en cada momento. Sin embargo, el piloto mantiene el control en todo momento, pudiendo modificar los puntos de paso durante el

vuelo, ejecutar maniobras predeterminadas o incluso tomar el control directamente, bien sea de forma manual o asistida.

2.1.1.4 *Modo autónomo.*

Generalmente es similar al modo automático, en cuanto que se establece un plan de vuelo predeterminado, pero una vez iniciado el vuelo la aeronave ejecuta el plan de forma totalmente autónoma, sin requerir la intervención del piloto incluso en caso de producirse situaciones de emergencia.

2.1.2 *Aplicación al Periodismo.*

El periodista cumple con la función de trasladar los hechos, con las condiciones que los rodean, desde el lugar en que se producen hasta los usuarios elegidos. Para ello se vale de una serie de herramientas de trabajo, actualmente una de las herramientas que más aplicaciones ofrece es el vehículo aéreo no tripulado o mejor conocido como drone que en todo caso será considerado como una herramienta más en esta profesión y más no el núcleo de la misma.

La irrupción de los drones en el periodismo amplía, mejora y agiliza el desarrollo presente y futuro de la profesión. Se dispone de todo lo anteriormente mencionado en cuanto a inmediatez, fidelidad y operatividad, pero con una nueva circunstancia crucial dentro de la labor general del oficio “la seguridad”. Porque con un aparato tripulado a distancia, ya no es necesaria la presencia física del periodista en el lugar de los hechos. Puede asistir a los mismos con la misma o mayor cercanía que hasta el momento, pero sin arriesgar su integridad ni la del equipo humano que le rodea. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid , 2015, p.192)

2.1.3 Clasificación basada en infraestructura.

Se pueden clasificar los vehículos aéreos no tripulados en base a dos características: el grado en que sean accesibles para un actor determinado; y la tecnología de base y la infraestructura, donde se identifican cuatro categorías:

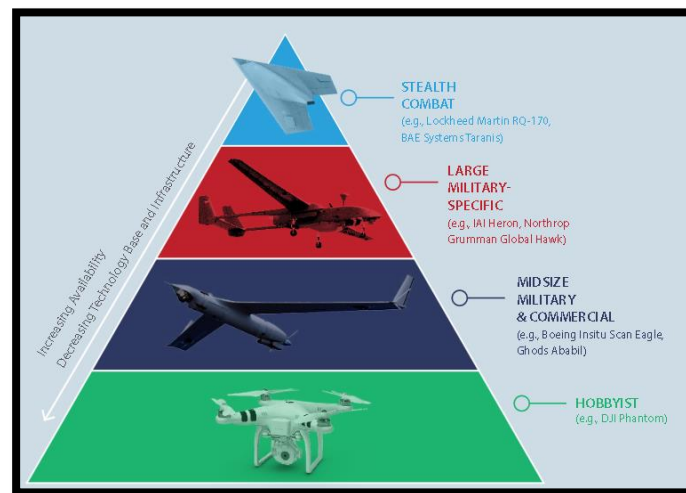


Figura 1. Clasificación de vehículos aéreos no tripulados en base a su infraestructura

Fuente: (Kelley Sayle, 2015)

2.1.3.1 Drones aficionados.

Incluyen aquellos que son fácilmente disponibles para su compra - por lo general no más de unos pocos miles de dólares - por cualquier interesado. Estos sistemas pueden o bien ser pre-montados o ensamblados a partir de componentes y no requieren infraestructura o capacitación para operar de manera formal. (Sayler, 2015, p.10)

- Capacidad de carga útil limitada
- La gama limitada / persistencia
- De alta definición de imágenes / transmisión de video
- GPS autónomo y de navegación autónoma

2.1.3.2 Aviones militares y comerciales de tamaño medio.

Son los que no están generalmente disponibles para las personas debido al costo o requerimientos de infraestructura. Estos sistemas pueden, sin embargo, ser vendidos o transferidos a fuerzas militares extranjeras y los actores no estatales. (Sayler, 2015, p.10)

- Capacidad de carga moderada
- Función de comunicación de retardo
- Cifrados, enlaces de datos de banda ancha

2.1.3.3 Específicamente grandes aviones militares.

A menudo incluyendo aviones no tripulados armados - requieren infraestructura militar sustancial de operar y generalmente no son accesibles u operables por agentes ajenos a grandes ejércitos. (Sayler, 2015, p.10)

- Capacidad de carga útil grande
- De largo alcance / persistencia
- Más allá de las comunicaciones de línea de vista
- Liberables misiles / bombas

2.1.3.4 Aviones de combate.

Incluyen aquellos que contienen tecnologías altamente sofisticadas, tales como características de baja observación, y no son accesibles a personal no militar. Mientras que varios países están desarrollando aviones de combate de sigilo, los Estados Unidos es el operador único conocido de este tipo de sistemas en este momento. (Sayler, 2015, p.10)

- Los enlaces de datos de baja probabilidad de intercepción/ baja probabilidad de la detección
- características observables bajas

2.1.4 Principales componentes de un drone.

Los drones de uso civil son cada vez más comunes, ya sea por su utilidad para lograr capturas aéreas o por aspectos relacionados a la seguridad y privacidad en su uso. Estos equipos en su mayoría comparten la característica de ser multirrotores, es decir que están compuestos de 3 o más hélices lo que les permite permanecer en un determinado lugar de forma estática y relativamente estables. (Chicaiza & Chuchico, 2015, p.5).

La estabilidad lograda por un drone multirrotor se da gracias a un elaborado sistema compuesto por tecnología avanzada que está cada vez más al alcance civil. A continuación, se enlistan las partes que constituyen a estos equipos:

2.1.4.1 Marco o frames.

Es la estructura que dará la forma al cuadricóptero y hará a su vez de soporte para los componentes eléctricos y electrónicos, actualmente existen en diversos materiales como por ejemplo fibra de carbón, de plástico, aluminio e inclusive de madera como se observa a continuación en la Figura 2.



Figura 2. Marco o Frame de un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero, modelo Hubsan X4 PRO

Fuente: (Newsletter, 2014)

2.1.4.2 Motores.

Los motores brushless están compuestos por una parte móvil (rotor) y una parte fija (estator o carcasa). En el rotor se encuentran los imanes permanentes, mientras que en el estator se encuentran dispuestos los bobinados de hilo conductor. En la Figura 3 se puede observar un motor de un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero. (Chicaiza & Chuchico, 2015, p.26).



Figura 3. Motor brushless de un vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (Newsletter, 2014)

2.1.4.3 Hélices.

La hélice es un elemento que transforma la energía mecánica (generada por un motor) en fuerza propulsora, proporcionando movimiento de avance al objeto que empuja. La hélice está constituida por un número variable de aspas o palas, donde cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo (mayor en la raíz, menor en el extremo), a continuación, se puede observar en la Figura 4 un juego de hélices. (Chicaiza & Chuchico, 2015, p.64).



Figura 4. Juego de hélices del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4PRO

Fuente: (osCommerce, 2016)

2.1.4.4 ESCs.

Electronic Speed Control, consiste en un circuito electrónico como se observa en la Figura 5. Cumple las funciones de controladores para acelerar y desacelerar cada motor. (Cuadricóptero, 2013)

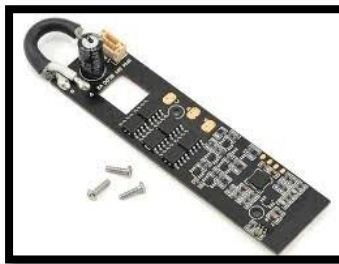


Figura 5. ESC de un vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (Build Your Own Drone Ltd, 2015)

2.1.4.5 Estabilizador de vuelo.

Ofrece un eficiente comportamiento de vuelo para multirrotores que alcanzan bajas alturas. El sistema provee de autonivelado y una excelente estabilización de altura, permitiendo orientarlo hacia aplicaciones profesionales o entretenimiento, en la Figura 6 se puede observar los componentes de un estabilizador de vuelo. (Soto, 2012, p. 71)



Figura 6. Estabilizador de vuelo de un vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (Chicaiza & Chuchico, 2015)

2.1.4.6 Control remoto.

Es el encargado de interpretar los comandos, órdenes y funciones que controlarán los motores como se muestra a continuación en la Figura 7.



Figura 7. Control remoto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

Fuente: (Drone Solutio, 2016)

2.1.4.7 Baterías.

“La batería es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad”, en la Figura 8 se puede observar una batería de tres celdas perteneciente al drone Hubsan X4 PRO. (Chicaiza & Chuchico, 2015, p.75).



Figura 8. Bateria perteneciente al vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

Fuente: (Drones, 2015)

2.1.5 Modelos de vehículos aéreos no tripulados.

En los últimos años el sector tecnológico e industrial ha tenido un gran desarrollo y avance tecnológico en el área dedicada a los vehículos aéreos no tripulados por esta razón se exhiben actualmente diferentes modelos y marcas de drones con distintos precios y funcionalidades. Cabe recalcar que esta tecnología ya no se encuentra limitada para el público adulto sino también se pueden adquirir drones de entrenamiento y también para manipulación de niños.

Por esta razón se pueden encontrar en exhibición diferentes modelos de drones como por ejemplo multirrotores, helicópteros y de ala fija.

2.1.5.1 Multirrotores

Es el modelo más extendido a nivel mundial, proporcionan una gran versatilidad y eficacia en las operaciones por su facilidad a la hora de ser pilotados y por la velocidad de montaje. Se trata de una plataforma estable por naturaleza, debido a que los motores se encuentran a la misma distancia del centro de gravedad de la aeronave. (Drone Spain, 2014-2017)

Dentro de la clase de multirrotores se encuentran clasificados mediante el número de motores con los que cuenta, de esta manera se pueden dividir en tricópteros “tres motores”,

cuadricópteros “cuatro motores”, hexacópteros “seis motores” y octocópteros “ocho motores”.
(Drone Spain, 2014-2017)

También se pueden clasificar de acuerdo a la configuración de los brazos que conforman el frame del drone, de esta manera se tiene la configuración en “Y”, “Y invertida”, “X” y “+”.
(Drone Spain, 2014-2017)

A continuación, se puede observar en la Figura 9 un vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero y en configuración del frame tipo “X”.



Figura 9. Ejemplo de un vehículo aéreo no tripulado del tipo cuadricóptero perteneciente al modelo multirrotor

Fuente: (Drone Spain, 2014-2017)

2.1.5.2 Helicópteros

Los helicópteros poseen una gran capacidad de carga de pago y autonomía gracias a que sólo posee un motor y una hélice de gran tamaño. El helicóptero es mucho más eficiente aerodinámicamente que un multirrotor, ya que el helicóptero funciona a revoluciones fijas de motor gracias al paso variable de las hélices, mientras que el multirrotor varía las revoluciones del motor para mantenerse estable, sin embargo, los helicópteros son muy complejos a nivel mecánico lo que obliga a realizar un ajuste constante para tener un vuelo óptimo además de ser su pilotaje bastante complicado. En la Figura 10 se puede observar con mayor claridad las características que presenta esta clase de vehículo aéreo no tripulado. (Drone Spain, 2014-2017)



Figura 10. Ejemplo de un vehículo aéreo no tripulado del modelo helicóptero

Fuente: (Drone Spai, 2014-2017)

2.1.5.3 Ala Fija

Se encuentra equipado con motor eléctrico o de explosión por lo que se encuentra en la capacidad de permanecer en el aire varias horas. Este modelo es ideal para trabajos que abarquen una gran extensión de terreno ya que puede permanecer bastante tiempo en el aire sin necesidad de utilizar el motor gracias al planeo que presenta su diseño como se puede observar a continuación en la Figura 11. Sin embargo, presenta una gran desventaja en lo que concierne al tema de aterrizaje y despegue, debido a que al no poder aterrizar y despegar en forma vertical requiere de una gran extensión de terreno plano y sin obstáculos que debe tener por lo menos 60 metros de distancia para realizar el despegue. (Drone Spain, 2014-2017)



Figura 11. Ejemplo de un vehículo aéreo no tripulado del modelo de Ala Fija

Fuente:(Drone Spain. 2014-2017)

2.2 Leyes y reglamentos establecidos por la Dirección General de Aviación Civil de Ecuador

La DGAC es una Institución altamente tecnificada que es la encargada de garantizar la seguridad operacional y la calidad de los servicios aeronáuticos y aeroportuarios dentro del país. (DGAC, 2016)

Entre sus funciones de encuentran planificar, organizar, ejecutar, regular y controlar el desarrollo técnico operativo de la actividad aeronáutica del país, en cumplimiento de normas y procedimientos nacionales e internacionales que garanticen la eficiencia y seguridad de las operaciones aéreas en el territorio ecuatoriano. (DGAC, 2016)

En vista de que el uso de los vehículos aéreos no tripulados “drones” en el país ha aumentado considerablemente en los últimos años la DGAC (Dirección General de Aviación Civil) ha decidido establecer leyes y normativas de uso para estos vehículos con el fin de proteger la integridad y privacidad de las personas e instituciones en el país.

La resolución que contiene las leyes y normativas fue expedida el día, jueves 17 de septiembre de 2015 la misma que está constituida por 8 artículos entre los cuales se encuentra estipulado que estas aeronaves no tienen permiso de operar en las cercanías de los aeropuertos y pistas de aterrizaje del país es decir deben mantenerse a una distancia mínima de 9 km de estos lugares, así mismo en la resolución se detalla que el piloto de la aeronave es el responsable de la misma durante el periodo de vuelo además de ello el piloto debe estar en condiciones fisiológicas adecuadas (No debe estar bajo estado etílico o sustancias alucinógenas). (DGAC, 2016)

Otro aspecto que se señala en la resolución es la altura de vuelo de las aeronaves las mismas que no podrán exceder los 400 pies de altura o 122 metros sobre el terreno y esto en horario diurno

tomando como referencia la salida y puesta del sol, además estas aeronaves podrán ser operadas solamente en condiciones meteorológicas de vuelo visual. (DGAC, 2016)

Conjuntamente con las normas anteriormente mencionadas es importante mencionar que el operador no podrá utilizar el sistema automático de la aeronave si este no le permite intervenir en cualquier momento.

Por último, en la resolución se establece que los propietarios de los vehículos aéreos no tripulados deben contratar un seguro contra accidentes si estos exceden los 2kg de peso, el seguro tiene un costo que va desde los 3000\$ a 5000\$. (DGAC, 2016)

2.3 Cámaras de bajo peso y pequeñas dimensiones

Debido a la cantidad de peso que estos vehículos pueden soportar las cámaras deben ser de corta dimensión y bajo peso pensando en esto algunas empresas han desarrollado cámaras con estas características de las cuales se mencionará a continuación:

2.3.1 Cámaras GoPro

Las cámaras GoPro Hero llevan tiempo evolucionando dentro del mercado, presentándose en varios modelos que cuentan con la mejor calidad, resolución y su bajo peso que es de 136 gramos, sin embargo, presentan una gran desventaja, su costo es demasiado elevado. El precio de estas cámaras puede variar entre 215 \$ a 430 \$ esto sin incluir ningún accesorio para su montaje, siendo en muchos casos mucho más costosas que los propios vehículos aéreos no tripulados. A continuación, se puede observar en la Figura 12 algunos modelos de cámaras GoPRO.



Figura 12. Modelos de cámaras GoPRO

Fuente: (Cuadricóptero, 2017)

2.3.2 Cámara JVC Adixxion

Otra buena opción es la cámara JVC Adixxion. Esta pequeña cámara tiene un peso de 126 gramos y es un poco más económica que las cámaras GoPRO Hero además de ser resistentes al agua, polvo, golpes y frío. Esta cámara es usada en aplicaciones al aire libre como se puede observar en la Figura 13. (Time Inc. (UK) Ltd Technology Network , 2003-.2017)



Figura 13. Cámara JVC Adixxion

Fuente: (Time Inc. (UK) Ltd Technology Network, 2003)

2.3.3 Cámara Mobius e Innovv

Esta cámara de video Full HD cuenta con un peso de 38 gramos. Posee un conector mini USB y es capaz de grabar videos NTSC y PAL. Otra cámara de características similares es la

Innovv, se trata de una cámara muy ligera con solo 44 gramos. Se presenta en 3 diferentes modelos, la C1, C2 y la C3 tal como se puede observar en la Figura 14. (Innovv, 2013-2017)



Figura 14. Modelos de la cámara Innovv

Fuente: (Innovv, 2013-2017)

2.3.4 Cámaras de Arducam

ArduCAM son cámaras digitales opcionales. Se trata de cámaras de bajo coste económico, pequeñas y de muy bajo peso. Existen una gran variedad de este tipo de cámaras, todo depende de la aplicabilidad que se les desee dar esto puede ser desde IoT hasta aplicaciones con sistemas embebidos además son compatibles con tecnologías open-source como por ejemplo Arduino, como se puede observar en la Figura 15. (Arducam, 2015)



Figura 15. Ejemplo de un módulo tipo cámara de Arducam

Fuente: (Arducam, 2015)

2.4 Red inalámbrica

Es un sistema de comunicaciones de datos que transmite y recibe datos mediante ondas electromagnéticas empleando el aire como medio de transmisión proporcionando conectividad

inalámbrica de igual a igual o P2P (Peer to Peer) dentro de un área limitada. (Ordoñez & Huidrobo, 2013, p.401)

2.4.1 Características.

- Dispone de anchos de banda similares a los que ofrecen las redes tradicionales cableadas.
- Facilidad de despliegue y movilidad para los usuarios.
- Nivel de seguridad inferior en comparación a las redes cableadas por lo que existe la posibilidad de sufrir interferencia de otros sistemas próximos.
- Pueden ser públicas o privadas.
- Utilizan básicamente ondas de radiofrecuencia en el rango de GHz. (Ordoñez & Huidrobo, 2013, p.403)

2.4.2 Ventajas y desventajas de las redes inalámbricas.

A continuación, se indicará la Tabla 1 correspondiente a las ventajas y desventajas que conlleva las redes inalámbricas.

Tabla 1. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de las redes inalámbricas

Ventajas	Desventajas
No existe cableado físico.	Menor velocidad que una red cableada.
Relativamente baratas.	Insegura.
Permiten gran movilidad dentro del alcance de la red.	
Fáciles de instalar.	
Escalable.	

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente Ordoñez & Huidrobo, (2013), Comunicaciones por radio

2.4.3 Clasificación.

La clasificación de las redes inalámbricas se puede realizar en función de distintos criterios como por ejemplo su velocidad, tecnología empleada entre otros, pero en este caso la clasificación se lo realizará en base al área de cobertura, tal como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las Redes Inalámbricas en función de su cobertura geográfica

Red	Estándar	Alcance
Wireless Body Networks (WBAN)	Sin normalizar	
Wireless Personal Area Network (WPAN)	IEEE 802.15	10 m
Wireless Local Area Network (WLAN)	IEEE 802.11	100 m
Wireless Metropolitan Network (WMAN)	IEEE 802.16	10 km
Wireless Wide Area Network (WWAN)	IEEE 802.20	35 km
Wireless Regional Area Network (WRAN)	IEEE 802.22	

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente Ordoñez & Huidrobo, (2013), Comunicaciones por radio

2.4.3.1 Topología Punto a punto.

Es aquella en la que todos los dispositivos inalámbricos pueden comunicarse entre sí directamente siempre y cuando tengan línea de vista, como se puede observar en la Figura 16. La desventaja que presenta es que tiene un área de cobertura limitada. (Bernal, 2005, p.26)

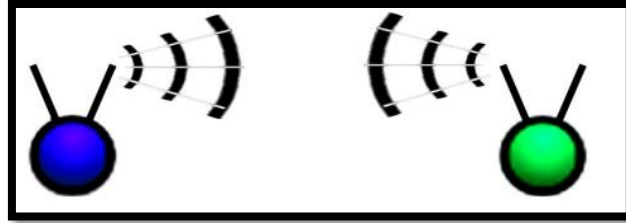


Figura 16. Topología Inalámbrica punto a punto

Fuente: (Blogger, 2015)

2.4.4 Módulos inalámbricos

Actualmente en el mercado se encuentran en exhibición una gran variedad de módulos electrónicos destinados para la elaboración de redes inalámbricas, los cuales dependiendo de su radio de alcance pueden ser utilizados en redes PAN (Personal Area Network) como puede ser el caso de los módulos bluetooth, o también para elaborar redes con mayor alcance como por ejemplo los módulos Xbee o Wi-fi, siendo estos módulos unos de los más populares en el mercado para la elaboración de sistemas embebidos, domótica, radiocontrol entre otras aplicaciones por sus cortas dimensiones, peso y bajo coste económico, cabe recalcar que independientemente de los módulos que se utilice se encuentran regidos por un estándar internacional.



Figura 17. Ejemplos de módulos electrónicos para la elaboración de redes inalámbricas

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2016)

2.5 Comunicación Microondas

La radiocomunicación por microondas se refiere a la transmisión de datos o voz a través de radiofrecuencias con longitudes de onda en la región de frecuencias de microondas. (Tomasi, 2003, p.310)

Las microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas pasan fácilmente a través de la atmósfera con menos interferencia que otras longitudes de onda mayores.

2.5.1 Características principales.

Las principales características que se muestran a continuación fueron tomadas como referencia del texto Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. (Tomasi, 2003, p.310)

- Existe más ancho de banda en el espectro de microondas que en el resto del espectro de radio.
- Su frecuencia va desde los 300Mhz hasta los 30Ghz.
- Tienen longitudes de onda relativamente pequeñas.
- Son usadas en programas informativos de televisión para transmitir una señal desde una localización remota a una estación de televisión mediante una camioneta especialmente equipada.
- Protocolos inalámbricos LAN, tales como Bluetooth y las especificaciones de Wi-Fi IEEE 802.11g y b también usan microondas en la banda ISM.

2.5.2 Enlace microondas.

Para la transmisión de señales vía radio de muy alta frecuencia (ondas electromagnéticas) llamadas microondas, se utilizan dos estaciones, una emisora y otra receptora, que deben poder visualizarse directamente entre sí, y que utilizan antenas parabólicas (conjunto de emisor/captador

de señal y reflector) de dimensiones adecuadas, según la longitud de onda de la señal a transmitir y de los márgenes de potencia disponibles. (Huidrobo, 2011, p.88)

El enlace puede ser terrestre “entre dos estaciones situadas sobre el terreno”, como se indica en la Figura 18, la cual consta de los elementos para establecer y realizar la comunicación, o espacial utilizando un satélite de comunicaciones como repetidor intermedio de la señal.

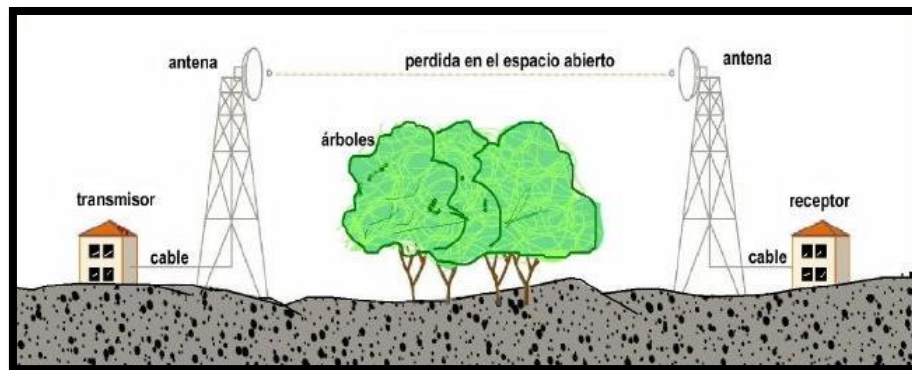


Figura 18. Enlace microondas terrestre entre una estación receptora y una estación transmisora

Fuente: (Microondas, 2012)

Las microondas se suelen utilizar en sustitución del cable coaxial o las fibras ópticas ya que se necesitan menos repetidores y amplificadores, aunque se necesitan antenas alineadas. Sus principales usos son para la transmisión de televisión, voz y datos.

2.5.2.1 Ventajas y desventajas de los enlaces microondas.

La Tabla 3 que se muestra a continuación detallará las ventajas y desventajas de los enlaces microondas.

Tabla 3. Tabla comparativa entre las ventajas y desventajas de los enlaces microondas

Ventajas	Desventajas
Múltiples canales disponibles.	Requiere de línea de vista
Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.	Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer.
La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en el ancho de banda de trabajo.	Señal de absorción por la atmósfera. Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz.
Las frecuencias altas equivalen longitudes cortas de onda, que requieren antenas relativamente pequeñas.	Las frecuencias son susceptibles a un fenómeno llamado disminución de multicamino lo que ocasiona que disminuya la intensidad de señal recibida.
Puede superar las irregularidades del terreno.	Construcción costosa de las torres.
Instalación más rápida y sencilla.	
Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.	

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente ETHW, (2015), *Microwave Link Networks*

2.6 Hardware de código abierto.

Es un hardware cuyo diseño se pone a disposición del público de modo que cualquiera puede estudiar, modificar, distribuir, hacer y vender el diseño o el hardware que se sustente en dicho diseño. El diseño a partir del cual se construye está disponible en el formato que se prefiera para que se hagan modificaciones en él. Idealmente, el hardware libre utiliza elementos y materiales inmediatamente disponibles, procesos estandarizados, infraestructura abierta, contenido no restringido y herramientas de diseño libres para aumentar al máximo la capacidad de los individuos de hacer y utilizar el hardware. El hardware libre brinda a los individuos la libertad de controlar su tecnología mientras comparten el conocimiento y alientan el comercio a través del intercambio abierto de diseños. (Lazalde, Torres & Vila-Viñas, 2015, p.5)

El hardware libre también denominado en inglés Open-source comparte la gran mayoría de los objetivos y métodos del software libre, aportando que los usuarios y diseñadores estudien su funcionamiento, poder modificarlo, reutilizarlo, mejorarlo y generar esta información para compartir en foros abiertos. El diseño del hardware está en archivos CAD se especifica toda la información de materiales, herramientas y conocimientos para la construcción, las placas Arduino son hardware libre y sus ficheros esquemáticos se encuentran abiertos a cualquier persona, bajo la licencia (Creative Commons Attribution Share-Alike) permitiendo realizar trabajos y publicándolos bajo la misma licencia. (Artero, 2013, p.69)

2.6.1 Objetivo del hardware libre.

El objetivo principal del hardware libre es proveer y aproximar la electrónica como tecnología actual a las personas, pero desde un punto no consumista, cambiando esta perspectiva incluyendo al desarrollo participativo de manera didáctica y fomentando en la creación de nuevas tecnologías,

con esto se contempla la posibilidad de saber cómo funcionan los dispositivos electrónicos en base a una manera ética. Tanto el software y hardware libre sean fundamentado como una pieza esencial en el progreso de un mundo informático y electrónico. (Artero, 2013, p.69)

2.7 Arduino

“Arduino es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar”, en la Figura 19 se puede apreciar el logotipo de Arduino.



Figura 19. Logotipo de Arduino Open-Source

Fuente: (Arduino, 2016)

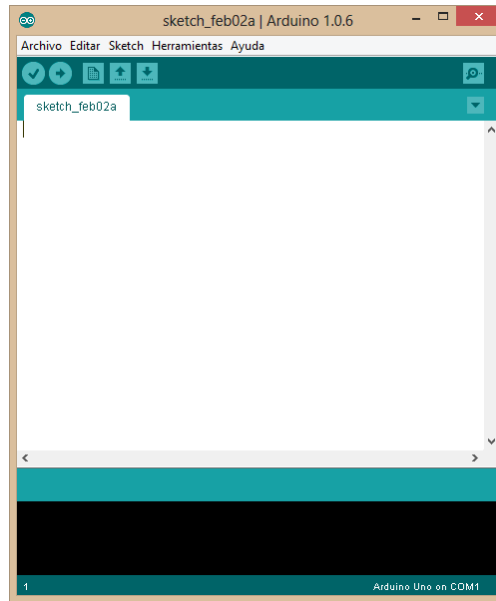
Arduino nació en Interaction Design Institute Ivrea como una herramienta fácil para prototipado rápido, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. Tan pronto como llegó a una comunidad más amplia, la placa Arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades y desafíos, diferenciar su oferta de tablas simples de 8 bits a los productos de la IO aplicaciones, la impresión 3D portátil y entornos integrados. Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios crear de forma independiente y, finalmente, adaptarlos a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto, y está creciendo a través de las aportaciones de los usuarios en todo el mundo. (Arduino , 2015)

Según la Free Software Foundation un entorno de hardware libre cumple con cuatro libertades: (Free Software Foundation, 2014)

- Libertad 0: la libertad de usar el programa con cualquier propósito y en cualquier sistema informático.
- Libertad 1: la libertad de estudiar cómo funciona internamente el programa y adaptarlo a las necesidades particulares. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto.
- Libertad 2: la libertad de distribuir copias.
- Libertad 3: la libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto.

2.7.1 IDE (Entorno de Desarrollo Integrado)

Dado que Arduino ejecuta una serie de códigos para el funcionamiento de sus diversas placas de desarrollo es necesario la utilización de un software que sea el encargado de la elección de la placa y ejecución de las líneas códigos. Este software es denominado IDE “Integrated Development Environment”, cuenta con un entorno de desarrollo sencillo, didáctico y de fácil uso, como se puede observar en la Figura 20.



*Figura 20. Entorno gráfico del programa IDE de Arduino
Fuente: Software de Arduino*

En la Figura 20 se puede observar los elementos que conforman el entorno gráfico los cuales no saturan el entorno con demasiadas opciones de desarrollo y sin embargo cuenta con las herramientas adecuadas y necesarias entre las cuales se encuentran las opciones de verificación y compilación del programa.

Su descarga se realiza de manera gratuita de la página oficial de Arduino (<http://www.arduino.org/downloads>), el software se encuentra disponible para los diferentes sistemas operativos.

Se debe tomar en cuenta, es que se debe contar con ciertos conocimientos de programación; una ventaja que presenta este entorno de programación es el no temer por la integridad de la placa Arduino cuando se realice un determinado código debido a que no puede dañarse gracias a que el IDE cuenta con una sistema de errores y de verificación por tal motivo si en el momento de programar se comete un error esta IDE identifica el error y no permite cargar el programa a la placa si este error no ha sido resuelto.

El IDE en su parte superior derecha mantiene lo que es la barra de herramientas y los botones de ejecución, en la barra se pueden observar lo que es Archivo, Editar, Sketch, Herramientas y Ayuda.

Debajo de los anteriormente mencionados se encuentra los botones:

- **Compilación**, este sirve para una verificación del programa.
- **Cargar** con el cual se transfiere la programación a la placa Arduino.
- **Nuevo** sirve para crear un sketch nuevo.
- **Abrir** abre un archivo antes realizado o una biblioteca de programas que viene para verificación y demostración de la placa.
- **Guardar** como lo dice guarda el sketch que se está desarrollando.

Finalmente, en la parte inferior se tiene una consola la cual muestra los mensajes de error o una correcta carga, además de diferentes tipos de información.

En el área de programación se observa dos secciones muy importantes:

- **SETUP**: “void setup” es donde se declara los pines o puertos con los cuales se quiere trabajar.
- **LOOP**: “void loop” es en si el programa, como será desarrollado sentencia por sentencia.

Con el desarrollo del proyecto se ira explicando de mejor manera las reglas a seguir para la programación de la placa.

2.7.2 Módulos de Arduino.

Arduino cuenta con una amplia variedad de módulos que se ajusta a las necesidades y requerimientos de los desarrolladores. La primera placa Arduino fue desarrollada en el año 2005, ofreciendo un bajo costo y facilidad de uso para novatos y profesionales, aunque en su inicio solamente se podían conectar sensores simples como leds u otras resistencias a partir del año 2012

se incorporaron nuevos modelos de placas de desarrollo que usan microcontroladores Cortex M3, ARM de 32 bits que coexisten con los originales modelos que integran microcontroladores AVR de 8 bits. Los microcontroladores AVR más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste.

Las placas Arduino se encuentran disponibles de dos maneras: ensambladas o en forma de kit. De manera general se puede decir que las placas de Arduino constan de entradas/salidas digitales, entradas/salidas análogas, dependiendo del tipo de placa pueden contener más de un pin PWM configurables. Cada pin de conexión puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. En la mayoría de placas los pines 0 y 1 son destinados como puertos seriales, sin embargo, otras placas pueden incluir hasta 4 puertos seriales. Las placas de Arduino van desde las más sencillas, con características mejoradas, orientadas a IoT, y también Arduinos pensados para llevar encima o "Shields". La diferencia entre las distintas placas de Arduino se encuentra en primer lugar en la tensión utilizada en las placas. Los microcontroladores con CortexM3 tienen un voltaje de 3,3 voltios, mientras que las placas con AVR utilizan una tensión de 5 voltios. Por otra parte, el número de conexiones, procesador utilizado, memoria y, sobre todo, el número de entradas y salidas y la posibilidad de alimentar distintos elementos desde la propia placa Arduino las diferencian y clasifican para diversas aplicaciones. En la Tabla 4 se menciona a los módulos más destacados y sus características principales.

Tabla 4. Placas de Procesamiento Arduino

	Arduino Uno	Arduino Leonardo	Arduino Mega 2560	Arduino Yun	Arduino Tre	Arduino Zero	Arduino Due	Arduino Fio	Arduino Nano
Placa Electrónica	ATmega328P	Atmega328u4	Atmega1280	ATmega328u4-chip Atheros AR9331	Texas Instrument Sitara AM335x	Atmel SAMD21 MCU	AT91SAM3X8E	ATmega328P	Atmega168
Pines digitales E/S	14	20	54	20	14	14	54	14	14
Entradas análogas	6	12	16	12	6	6 (DAC)	12	8	8
Pines PWM	6	7	14	7	7	12	12	6	6
Corriente DC por pin	40mA	40Ma	40mA	40mA		7mA	15mA	40mA	40mA
Oscilador de Cristal	16MHz	16MHz	16MHz	16MHz	16MHz	48MHz	84 MHz	8MHz	16Mhz
Memoria de programa (Flash)	32Kb	32Kb	256Kb	16Kb	32Kb	256Kb	512Kb	32Kb	16Kb
Memoria de Datos (SRAM)	2Kb	2.5Kb	8Kb	2.5Kb	2.5Kb	32Kb	96Kb	2Kb	1Kb

Memoria Auxiliar EEPROM	1Kb	1Kb	4Kb	1Kb	1Kb	16Kb	0 Kb	1Kb	512 bytes
Conexiones UART	1	1	4	1		2	4	1	1
Conexiones	USB	Micro USB	USB	Ethernet, WiFi, USB y micro-SD	HDMI, USB, microSD	Micro USB	USB OTG, TWI, SPI JTAG		Mini-USB

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente Arduino, (2015)

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se mencionará aspectos que intervienen en el diseño del sistema como sus componentes, funciones, requerimientos, limitaciones, arquitectura de diseño como por ejemplo diagramas de diseño, diagramas de conexión y funcionamiento.

3.1 Análisis de la Situación Actual

Para el análisis de la situación actual se recopiló información que permita responder las preguntas referentes al diseño del sistema y de esta manera sustentar el desarrollo del proyecto. La información se obtuvo de la Técnica de Telecomunicaciones “Ing. Paola Tirira”, que se encuentra a cargo de las transmisiones vía microondas que realiza el canal universitario. A continuación, en la Tabla se detalla el método que se utilizó para la obtención de la información.

Tabla 5. Método y formato para el levantamiento de información de la situación actual

SITUACIÓN ACTUAL

Método: Para el levantamiento de información de la situación actual se plantea la realización de una entrevista. Este método de investigación ha sido seleccionado debido a que la información se recopila de manera uniforme, es decir, permite descartar aquellos datos que no son de utilidad a los objetivos de la entrevista permitiendo una fácil interpretación y análisis de la información.

La entrevista se realizó a la Técnica de Telecomunicaciones Paola Tirira, quien se encuentra a cargo de las transmisiones microondas dentro y fuera de la casona

universitaria, lo que se busca conocer es la manera de obtención de contenido visual para el canal universitario.

Formato: La entrevista según su objetivo es de tipo no estructurada. Este tipo de entrevistas son muy útiles en los estudios descriptivos, ya que se busca conocer las técnicas que se aplican en el canal universitario para la obtención de contenido visual.

En el formulario de la entrevista se optó por hacer uso de preguntas abiertas, porque permiten captar más información acerca del tema y por lo tanto se espera una respuesta amplia y profunda.

El formulario de la entrevista realizada se puede observar en el Anexo 2 del presente trabajo.

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Una vez realizada la entrevista a la Ing. Paola Tirira, se obtuvo la información necesaria para sustentar el desarrollo del proyecto, a continuación, se detallan los resultados obtenidos de la entrevista.

En primera instancia se determinó que el canal universitario perteneciente al Departamento de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte es el encargado de la transmisión de las noticias más relevantes en temas concernientes a la casona universitaria y sector norte del país, motivo por el cual en determinadas ocasiones se requiere la movilización del personal.

El canal universitario trabaja con tecnología análoga con formato de pixeles de imagen de 720x480, sin embargo, los fotogramas pueden ser de un formato más grande debido a que se pueden modificar con el equipo que se encuentra en la unidad móvil antes de que estas puedan ser enviadas al servidor master.

Para la obtención de contenido visual, el canal universitario hace uso de cámaras de grabación que son manejadas por el personal del departamento, para poder realizar las capturas de imágenes las cámaras deben ubicarse sobre una superficie firme.

Otra manera con la que obtienen contenido visual en algunas ocasiones es mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado perteneciente al Ing. Christian Enríquez que desempeña las funciones de operador máster, camarógrafo y editor dentro del canal universitario. Los fotogramas que se obtienen se almacenan en una memoria Micro SD que se encuentra ubicada en el vehículo aéreo no tripulado, por tal motivo para hacer uso de los fotogramas se requiere que el dron aterrice para poder extraer la memoria Micro SD y mediante un adaptador de memoria enviar los fotogramas a un ordenador para finalmente poder realizar la transmisión de los datos mediante la utilización de un conversor análogo que va conectado al ordenador (puertos VGA, USB) y posteriormente switch de video que forma parte de los equipos de transmisión de la unidad móvil.

A pesar que actualmente se encuentran disponibles aplicaciones en el mercado que permiten el control de determinados modelos de drones además de la visualización de los fotogramas mediante el uso de tablets o teléfonos inteligentes su aplicación en el Departamento de Comunicación no sería la más indicada porque son dispositivos que no cuentan con entradas VGA y USB que son necesarias para la conexión con el conversor análogo el mismo que es el medio para conectarse con los equipos de transmisión.

La transmisión de la información obtenida en exteriores de la casona universitaria se realiza por medio de un enlace microondas terrestre. La antena de recepción se encuentra ubicada en la terraza del edificio principal de la institución y la información es recibida por el servidor master ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación, mientras que la transmisión se realiza por medio de una unidad móvil que cuenta en su interior con los equipos para realizar la

transmisión microondas. Para que la transmisión de los fotogramas se realice con éxito la antena de transmisión y recepción microondas deben encontrarse alineadas.

Finalmente, se concluye que la mejor manera de emplear los vehículos aéreos no tripulados junto a la tecnología de transmisión de datos vía microondas es que los fotogramas captados en el aire sean enviados inalámbricamente a un ordenador, lo cual respalda el desarrollo de este proyecto.

3.1.1 Equipo de la unidad móvil utilizado para los enlaces microondas.

Para la realización de los enlaces microondas se debe hacer uso de un determinado número de equipos los cuales se mencionarán a continuación los equipos con los que consta una unidad móvil de microondas.

- Enlace de Microondas Portatil G. Com B1 200m 2.4ghz S/N 08060052t/08060052r Complete Sintetized Portable Tv Link Composed By:8w Nom Transmitter, Receiver; 2x0.6mt Parabolics, 2 Outdoor Waterproof Boxes, Capacity 1 Video, 1 Audio.
- Switch de video Datavideo Se 800
- Sony Lmd 4420-Módulo de 4 Monitores Lcd
- Consola de audio Yamaha
- Fuente de poder Pyramid
- Frame para Tarjetas Análogas Audio y Video Link Electronics Pfm 210
- Tarjetas Vda Video
- Radio móvil Kenwood
- Radio portátil Kenwood
- Grabador reproductor en Dvd
- Monitor de televisión con entrada Av

- Video casetera Hdv Sony Hvr-M15an

A continuación, se detallará los equipos que se requiere utilizar para el envío de imágenes vía microondas.

3.1.1.1 Enlace De Microondas Portatil G. Com Bl 200m 2.4ghz S/N 08060052t/08060052r Complete Sintetized Portable Tv Link Composed By:8w Nom Transmitter, Receiver; 2x0.6mt Parabolics, 2 Outdoor Waterproof Boxes, Capacity 1 Video, 1 Audio.

Está conformado por la antena emisora y receptora del enlace microondas, así como de las cajas exteriores pertenecientes a cada una. Las cajas exteriores se encuentran conectadas las antenas tanto de emisión como de transmisión. El enlace tiene la capacidad para la transmisión de audio y video. A continuación, se puede observar en la Figura 21 la antena de transmisión y recepción con sus respectivas cajas exteriores.



*Figura 21. Antenas de transmisión y recepción del enlace microondas junto a sus respectivas cajas exteriores
Fuente: Antena microondas transmisora y receptora perteneciente al canal universitario*

3.1.1.2 Frame para Tarjetas Análogas Audio y Video Link Electronics Pfm 210

Consiste en un marco diseñado para acomodar hasta 4 amplificadores PVA-152/1 Video Distribución. Es un equipo de fácil instalación, además de aumentar su eficiencia mediante la organización y montaje de varios amplificadores en un solo adaptador de rack.

Cuando se opera en este marco, cada amplificador tiene hasta 8 salidas de vídeo. Además, cuando el bastidor tiene cuatro amplificadores de la entrada de vídeo se puede conectar para un máximo de 32 salidas. A continuación, se puede observar en la Figura 22 el frame perteneciente al departamento de comunicación.



Figura 22. Frame para Tarjetas Análogas Audio y Video Link Electronics Pfm 210

Fuente: Frame perteneciente al canal universitario

3.1.1.3 Conversor análogo-digital

Permite la comunicación entre el ordenador y el frame para tarjetas análogas. Consta de tres entradas, la entrada VGA y la entrada USB son conectados al ordenador encargado de recibir los fotogramas y la entrada coaxial se conecta a su vez al switch de video. En la Figura 23 se puede observar más detenidamente sus entradas.



Figura 23. Conversor análogo-digital

Fuente: Conversor perteneciente al canal universitario

3.1.1.4 *Switch De Video Datavideo Se 800.*

Es un mezclador de difusión digital de cuatro entradas. Está compuesto de entradas y salidas multi-formato con el formato analógico / DV. El switch tiene un puerto de salida SDI lo que le permite conectar una tarjeta de superposición PC para importar texto y gráficos desde un PC en el SE800DV. El panel de control de tamaño completo incluye 30 teclas preprogramadas que le permiten reproducir las funciones preprogramadas al instante pulsando una sola tecla, como se muestra en la Figura 24. El Puerto de control de datos permite realizar actualizaciones a través de un puerto RS232 del PC. (Sur Advantage Company Inc, 2016)



Figura 24. Parte superior y posterior del Switch De Video Datavideo Se 800

Fuente: (Sur Advantage Company Inc, 2016)

Entre sus principales características se destacan las siguientes:

- Cada entrada puede seleccionar cualquier fuente de DV (DV25), de componentes YUV, S (Y / C) o formatos de vídeo compuesto, y convertir a todos los formatos de salida.
- Puerto SDI proporciona un "PC-Link" conexión YUV digital, que le permite conectarse a una tarjeta gráfica de expansión o chroma key SDI que se superpone texto y gráficos desde

un PC a los videos o de gama alta cromado efecto clave con una salida digital "SDI" de vídeo.
(Sur Advantage Company Inc, 2016)

- Procesador de color incluyendo corrección RGB puede ser almacenado con diferentes ajustes sobre cada entrada de vídeo. (Sur Advantage Company Inc, 2016)
- Área programable para efectos del mosaico con el control de la posición de la palanca de mando. (Sur Advantage Company Inc, 2016)
- La unidad viene con una carcasa de aluminio para una mayor protección durante el transporte. (Sur Advantage Company Inc, 2016)

3.1.1.5 Sony Lmd 4420-Modulo de 4 Monitores Lcd.

Estos monitores LCD Sony como el que se muestra en la Figura 25 permiten una visión múltiple de una manera sencilla y menos costosa, en esta clase de monitor no es necesario seleccionar manualmente el sistema de TV apropiado debido a que este detecta automáticamente si la entrada de señal compuesta es NTSC o PAL y cambia la configuración para adaptarse a dicha señal. (Sony Corporation, 2004-2016)



*Figura 25. Módulo de 4 monitores LCD
Fuente: (Sony Corporation, 2004-2016)*

3.1.1.6 Fuente de poder pyramid.

El protector de sobrecarga térmica y corto circuito aseguran la energía, cuenta con terminal de conectores de tornillo y palancas de protección contra sobrecarga, tal como se observa en la Figura 26. (Bodecor, 2012)



Figura 26. Fuente de Poder Pyramid

Fuente: (Bodecor, 2012)

3.1.1.7 Video casetera Hdv Sony Hvr-M15an.

Es un sistema de grabación en HD de alto rendimiento, este sistema es la respuesta a la creciente demanda de mayores niveles de operatividad, como las solicitudes de mayor tiempo de grabación y reproducción/grabación en formato progresivo. Es compatible con los cassettes estándares, y mini cassettes, para ofrecer un tiempo de grabación extendido de hasta 276 minutos, se puede el mismo en la Figura 27. (Sony Corporation, 2004-2016)



Figura 27. Video casetera Hdv Sony Hvr-M15AN

Fuente: (Sony Corporation, 2004-2016)

3.2 Aspectos básicos de diseño basado en el estándar ISO / IEC / IEEE 29148: 2011

3.2.1 Propósito del sistema

La implementación de un sistema de captura de imágenes mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado en el cual la transmisión de los datos se realizará vía microondas a un servidor ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

3.2.2 Perspectiva del diseño.

El sistema electrónico estará conformado por tres bloques principales de funcionamiento, Interfaz de Usuario (IU), Centro de Control (CCT) y Centro de Captura (CC) el cual a su vez se encuentra subdividido en cuatro secciones que son: captura, almacenamiento, comunicación y alimentación, con los que el sistema electrónico cumplirá con los objetivos anteriormente establecidos.

El primer bloque de funcionamiento es el Centro de Captura (CC), que se encontrará empotrado en el soporte de un vehículo aéreo no tripulado, será constituido por tres secciones la primera es el módulo tipo cámara y la placa procesadora de Arduino que conjuntamente tendrán la función de la captura de imágenes en el formato que se encuentra establecido dentro del Capítulo I, la segunda sección hace referencia a los requerimientos de alimentación energética misma que es de vital importancia para el funcionamiento del proyecto y la última sección será la encargada de la comunicación inalámbrica y envío de datos hacia la interfaz de usuario.

El software de programación que se hará uso es el perteneciente a la plataforma Arduino debido a que cumple con las características para la programación de todos los elementos electrónicos, este entorno de programación se denomina Arduino IDE.

El segundo bloque de funcionamiento es la Interfaz de Usuario (IU), tendrá la funcionalidad de recepción de datos enviados desde el Centro de Captura (CC). Este bloque se encuentra constituido por dos secciones, la primera sección corresponde al módulo inalámbrico de recepción conjuntamente con una placa procesadora de Arduino que cumplen la función de recepción de los fotogramas y la segunda sección corresponde a la utilización del software para el almacenamiento de los fotogramas en la PC para su posterior envío vía microondas al servidor ubicado en el edificio central de la universidad, esto se realizará mediante la utilización del equipo con el que dispone el departamento de comunicación de la institución.

El tercer bloque de funcionamiento es el Centro de Control (CCT), será el encargado del funcionamiento, monitoreo y movilidad del vehículo aéreo no tripulado donde se encontrará instalado el primer bloque de funcionamiento.

3.2.2.1 Interfaces del sistema.

- Interfaz de comunicación
- Interfaz de usuario
- Interfaz de captura

3.2.2.2 Interfaz del usuario.

El usuario estará relacionado con el sistema electrónico de dos maneras la primera será a través del control remoto del vehículo aéreo no tripulado y a través de la PC en la cual se visualizará y guardará las imágenes para su posterior envío vía microondas.

3.2.2.3 Interfaz de hardware.

El hardware del sistema electrónico deberá ser compuesto por elementos de corta dimensión, poco peso y bajo consumo de energía, cumpliendo con las características técnicas de

diseño que el sistema requiere, esto debido a que el vehículo aéreo no tripulado puede estar en el aire con un determinado peso que es un factor muy importante a tomar en cuenta en el proyecto.

Los componentes electrónicos que se ubicarán en el vehículo aéreo no tripulado conformarán el bloque CC (Centro de Captura), por otro lado, los componentes electrónicos que conformarán el IU (Interfaz de Usuario) se ubicarán junto a la PC de recepción de fotogramas.

La otra sección del hardware corresponderá a los equipos que permitirán realizar el enlace microondas, cabe mencionar que los equipos que se usarán como por ejemplo conversor análogo-digital, switch de video, entre otros son propiedad del canal universitario.

3.2.3 Función del Sistema.

La función principal del sistema consiste en la captura y transmisión de imágenes vía microondas a un servidor ubicado en el departamento de comunicación de la universidad, aunque para la realización de esta acción se requiere del manejo de un vehículo aéreo no tripulado que se operará según las leyes establecidas por la DGAC.

3.2.4 Características del usuario.

El sistema contará con la presencia de dos usuarios, el primero será el responsable del manejo de la PC que tendrá por nombre operador, quien realiza la recepción y posterior envío de las imágenes vía microondas además debe contar con conocimientos básicos de manejo de un ordenador y el otro usuario se encargará del manejo del vehículo aéreo no tripulado.

El segundo usuario será definido como piloto del vehículo aéreo no tripulado el que deberá cumplir con características de uso con la finalidad de precautelar su seguridad y de las personas debido a que existen riesgos al momento de utilizar el sistema.

A continuación, se detallará el perfil que debe tener el piloto:

- Conocer y manejar adecuadamente los controles de vuelo del vehículo aéreo no tripulado.
- Poseer criterio formado.
- Horas de vuelo realizadas.
- Estar al tanto de las normas de uso de vuelo establecidos por la DGAC en el año 2015.
- Cumplir los protocolos que se plantearan dentro del capítulo de diseño para el funcionamiento correcto del sistema.
- No estar bajo efectos de sustancias estupefacientes o psicotrópicas, como se encuentra ilustrado en la Figura 28.

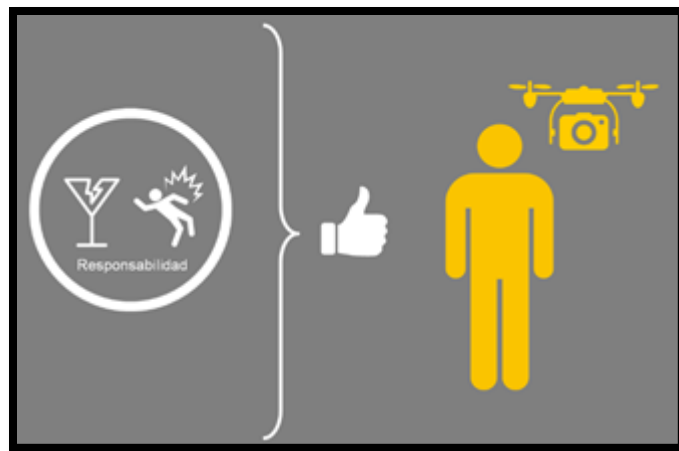


Figura 28. Características del piloto del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.2.5 Características del espacio de trabajo.

Al tratarse de un sistema que cuenta entre sus principales componentes con un vehículo aéreo no tripulado el espacio de trabajo consiste en espacios abiertos que se encuentran estandarizados por la Resolución N °251 dictaminada por la DGAC en el año 2015.

Entre los lineamientos del documento se menciona que no se debe volar en sitios cercanos a aeropuertos o pistas de aterrizaje además es prohibido el vuelo sobre edificios gubernamentales.

Además de los estándares establecidos por la DGAC se debe recalcar que el sitio de vuelo del vehículo aéreo no tripulado debe encontrarse libre de vegetación que pueda provocar la caída del vehículo esto incluye cables de alta tensión, cables de alumbrado público. Otro lugar que no cumple con el espacio de trabajo es el vuelo cercano entre edificios debido a que pueden obstaculizar el punto de vista del operador al vehículo aéreo no tripulado, inclusive el vuelo sobre multitudes no es permitido por la DGAC con motivo de precautelar la seguridad de otras personas.

El espacio requerido para el despegue del vehículo aéreo no tripulado debe ser de aproximadamente 2 metros de distancia entre este y el operador, debido a que al momento de despegar este genera mucho ruido, viento y como consecuencia levanta pequeños escombros que se encuentren en el piso.

3.2.5.1 Limitaciones.

El sistema se encuentra limitado por aspectos técnicos, físicos y reglamentarios, que se mencionará a continuación:

En el aspecto técnico influye el consumo de energía del vehículo aéreo no tripulado debido a que el sistema no es estático, el funcionamiento depende de la batería tipo Li-po que poseen estos vehículos de vuelo, la duración de estas baterías varía de acuerdo al modelo y características que posea el vehículo aéreo no tripulado.

Otro factor importante a tomar en cuenta en el aspecto técnico es el peso y dimensiones de los elementos electrónicos que se incluirán en el vehículo aéreo no tripulado debido a que esta tecnología cuenta con un limitante de peso en el aire (vuelo del vehículo aéreo no tripulado).

El aspecto físico se refiere al clima que es un factor muy importante a tomar en cuenta debido a que el sistema se encuentra delimitado por este, el vehículo aéreo no tripulado no puede volar en días nublados, lluviosos o con fuertes vientos.

El aspecto reglamentario impuesto por la DGAC limita las horas de vuelo en el horario de seis de la mañana a seis de la tarde además de ello también limita la altura de vuelo a 100 metros del suelo sin embargo esta altura cambia debido a la comunicación inalámbrica que se utiliza para la transmisión de imágenes que está establecida por el estándar IEEE 802.15.1, a continuación, se puede observar en la Figura 29 las limitaciones.



Figura 29. Limitaciones de vuelo del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (Marcet Guillermo, 2015)

3.2.6 Requerimientos del sistema

El análisis de los requerimientos del sistema se realiza tomando como referencia el estándar ISO / IEC / IEEE29148: 2011, mismo que contiene disposiciones para los procesos y los productos relacionados con la ingeniería de requisitos, ha sido desarrollado con la finalidad de ser

implementado en los sistemas y productos de software y servicios a lo largo del ciclo de vida. (ISO/IEC/IEEE, 2011)

El estándar da directrices para el formato de los elementos de información requeridos y relacionados permitiendo definir la construcción de un buen requisito que proporcione atributos y características que debe cumplir el sistema teniendo en cuenta la aplicación reiterativa a lo largo del ciclo de vida del sistema.

Las tablas que se muestran a continuación se encuentran diseñadas tomando en cuenta los parámetros que establece el estándar antes mencionado, estas contienen los requisitos de hardware, requerimientos de software, requerimientos iniciales, requerimientos de arquitectura, esto en lo que concierne al sistema en desarrollo, además de las tablas concernientes a los requerimientos de uso y usuario.

El diseño establecido para cada tabla consta de cinco columnas, la primera columna es destinada al número de requerimiento, la siguiente columna tiene como función la descripción detallada del requerimiento, la tercera columna identifica la prioridad de dicho requerimiento la cual a su vez se subdivide en alta, media y baja, esta columna se puede considerar como la de mayor relevancia en toda la tabla porque la valoración que se le designe a dicho requerimiento permite la selección de hardware y software, finalmente consta de las columnas de relación y verificación que se utilizan en el caso que un requerimiento sea dependiente de otro.

A continuación, se presenta la Tabla 6 que corresponde a los requerimientos iniciales del sistema, aquí se definen los límites funcionales del sistema, se describen detalladamente los requerimientos de uso, interfaces, modos y estados, además de los requerimientos físicos. Esta tabla emplea la nomenclatura SySR, (System Requirements Specification) que hace referencia a

la especificación de los requisitos del sistema además sus siglas se utilizan en la numeración de los requerimientos de la tabla.

Tabla 6. Requerimientos de funciones del sistema

SySR						
REQUERIMIENTO DE FUNCIONES						
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN	VERIFICACIÓN
		Alta	Media	Baja		
SySR 1	Conexión de los módulos inalámbricos ubicados en el CC y el IU.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 2	Captura de fotogramas durante el horario diurno.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 3	Captura de los fotogramas en el formato de 720 x 480 pixeles para su posterior envío al IU	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 4	Carga completa de la batería tipo Li-Po para completar el tiempo de vuelo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTO DE USO						
SySR 5	Manual de ensamblaje para el piloto del vehículo aéreo no tripulado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 6	Manual de uso para el piloto del vehículo aéreo no tripulado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 7	Manual de vuelo para el piloto del vehículo aéreo no tripulado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 8	Las condiciones climáticas no deben ser extremas como por ejemplo con presencia de lluvia, ventiscas o nubosidades	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 9	El sistema requiere del uso de la batería Li-Po que es el que alimenta tanto al vehículo aéreo no tripulado como al CC.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SySR 10	El vehículo móvil perteneciente al departamento de comunicación debe estar presente en el área de funcionamiento del sistema para	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

posterior envío de los fotogramas al servidor master.

SySR 11 El piloto debe tener experiencia en el manejo de vehículos aéreos no tripulados.

REQUERIMIENTO DE INTERFACES

SySR 12 Interfaz de comunicación entre los módulos inalámbricos se debe realizar automáticamente.

SySR 13 El fotograma obtenido no debe tener errores de pixelado para la utilización de los mismos.

SySR 14 Correcta conexión de los equipos microondas para envío de las imágenes al servidor master

REQUERIMIENTO DE MODOS/ESTADOS

SySR 15 El sistema deberá estar activo solamente en el momento que inicie el vuelo.

SySR 16 El sistema estará en funcionamiento hasta que se indique en la LCD del control remoto que la batería Li-Po ha llegado a su límite.

REQUERIMIENTOS FÍSICOS

SySR 17 El vehículo aéreo no tripulado debe tener la capacidad soportar elementos externos a los suyos.

SySR 18 El vehículo aéreo no tripulado debe estar en capacidad de proporcionar un tiempo de vuelo de aproximadamente 15 minutos para poder realizar las capturas de los fotogramas

SySR 19 El tamaño del sistema no debe ser de gran proporción, los elementos que lo conformen deben ser de tamaño mínimo posible.

SySR 20	El peso del sistema no debe exceder el peso que tolera el vehículo aéreo no tripulado.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
----------------	--	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Continuando con el análisis de los requerimientos del sistema se presenta a continuación la Tabla 7 correspondiente a los requerimientos de arquitectura del sistema, en donde se definen los requerimientos lógicos, de diseño, hardware, software y eléctricos. Esta tabla emplea la nomenclatura SRSH en la numeración de los requerimientos, se debe recalcar que por requerimientos que se detallan en esta tabla se le puede considerar como la más importante ya que servirá para la elección de los componentes electrónicos que conformaran el sistema.

Tabla 7. Requerimientos de arquitectura del sistema

SRSH						
REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA						
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN	VERIFICACIÓN
		Alta	Media	Baja		
SRSH 1	El sistema debe ser conformado con elementos electrónicos que se ajusten a las necesidades del sistema además deben tener bajo peso y cortas dimensiones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTOS LÓGICOS						
SRSH 2	El fotograma debe ser de 720x480 pixeles o de 800x600 pixeles ya que es el valor que más se le aproxima.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
SRSH 3	El formato de la imagen debe ser JPG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO						
SRSH 4	El CC debe ser colocado en el vehículo aéreo no tripulado sin causar daño a sus componentes.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

SRSH 5	El sistema no debe violar las normas establecidas por la DGAC en la resolución N° 251 decretada en el año 2015.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 6	El CC no debe intervenir con el punto de equilibrio del vehículo aéreo no tripulado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 7	El sistema requiere de la presencia de dos usuarios para su correcta utilización además del personal que opera el equipo móvil perteneciente al canal universitario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

SRSH 8	Se requiere un software que permita la configuración de los elementos electrónicos basados en open-source.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 9	El software de visualización del fotograma debe poseer la capacidad de almacenar y abrir un puerto COM para su conexión con el IU	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

SRSH 10	Las dimensiones y peso de los elementos electrónicos deben ser lo más pequeñas y livianas posibles.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 11	Los componentes electrónicos deben ser compatibles con la tecnología open-source.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 12	Se requiere de una cámara que realice la capturas de los fotogramas en el formato de 720x480 pixeles o un formato mayor que no tenga tanta diferencia con el formato antes mencionado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SRSH 13	La placa de procesamiento empleada en el CC debe contar con suficientes canales UART para el desarrollo del sistema, además de un procesador que permita la captura y tratamiento de los fotogramas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 14	La placa de procesamiento empleada en el IU debe contar por los menos con dos canales UART.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 15	Los módulos de comunicación inalámbrica no deben interferir con la señal de control del vehículo aéreo no tripulado y además deben poseer un radio de señal que no sobrepase la altura reglamentada para el vuelo dictaminada por la DGAC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 16	El vehículo aéreo no tripulado debe contar entre sus accesorios con un elemento que le permita ubicar el CC sin necesidad de invadir su Frame	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS

SRSH 17	El sistema requiere de una fuente de alimentación portable ya que no se va a mantener estático.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SRSH 18	La batería Li-Po del vehículo aéreo no tripulado requiere una carga de corriente alterna para que sus celdas puedan llenarse.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Finalmente, en el análisis de los requerimientos del sistema se presenta a continuación la Tabla 8 correspondiente a los requerimientos de Stakeholders, cabe recalcar que se les da este término a todas aquellas personas o entidades que pueden afectar o son afectados por el resultado obtenido en el desarrollo de un proyecto. Además, en esta tabla se especifican los requerimientos operacionales y de usuario. Se emplea la nomenclatura StSR, (Stakeholder Requirements Specification) que hace referencia a la especificación de requisitos de los interesados y se hace uso de su nomenclatura para la numeración de los requerimientos de esta tabla.

Tabla 8. Requerimientos de Stakeholders

StSR						
REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS						
#	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACIÓN	VERIFICACIÓN
		Alta	Media	Baja		
StRS 1	El sistema requiere de la presencia de dos usuarios para su correcta utilización además del personal que opera el equipo móvil perteneciente al canal universitario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES						
StRS 2	La transmisión de los fotogramas se realizará siempre que se haya establecido la conexión inalámbrica entre el CC y el IU	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
StRS 3	El sistema solamente podrá ser utilizado en condiciones climáticas que no representen peligro al momento del vuelo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
REQUERIMIENTOS DE USUARIOS						
StRS 4	El operador será el encargado de la utilización del IU que conforma un bloque de funcionamiento del sistema	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
StRS 5	El piloto debe tener experiencia en el manejo de los vehículos aéreos no tripulados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
StRS 6	El piloto debe seguir el procedimiento que se establezca en los manuales de ensamblaje, de uso y de vuelo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.3 Selección de Hardware.




Para realizar la elección del hardware se debe tomar en cuenta los requerimientos del sistema que ya fueron establecidos y analizados en la Tabla 7 “Requerimientos de Arquitectura del Sistema” y el factor peso que es valor determinante en la selección de los componentes. El orden en el cual se determina los componentes es el siguiente: en primer lugar, se selecciona el vehículo aéreo no tripulado ya que en función a este se determina el peso máximo que puede tener el sistema, luego se continúa con el módulo cámara, esto permite determinar el número de pines y otras características que requiere para su funcionamiento, posteriormente se procede a realizar la elección de la placa de procesamiento en la cual se ubicarán todos los componentes y finalmente se realiza la elección del módulo de comunicación inalámbrica.

3.3.1 Vehículos aéreos no tripulados.

En los últimos años el sector tecnológico e industrial ha tenido un gran desarrollo y avance tecnológico en el área dedicada a los vehículos aéreos no tripulados por esta razón se exhiben actualmente diferentes modelos y marcas de drones con distintos precios y funcionalidades. Cabe recalcar que esta tecnología ya no se encuentra limitada para el público adulto sino también se están desarrollando drones para niños o de iniciación.

A continuación, se presenta en la Tabla 9 algunos modelos de vehículos aéreos no tripulados correspondientes a la categoría de hobbyist porque son de fácil adquisición, además de ser del tipo cuadricóptero y configuración en “X”.

Tabla 9. Tabla de vehículos aéreos no tripulados

	Syma X5C Explorers	DJI Phantom 2	Hubsan X4 PRO
Tiempo de vuelo	7 minutos	10-15 minutos	Aproximadamente 20 minutos
Características especiales	Largo alcance Recomendado para principiantes.	Modelo recomendado para aficionados y expertos compatible con cámaras GoPro aunque tiene un rango limitado de señal.	Cuenta con dos ejes cardán uno para cámara y otro adaptable para otros dispositivos.
Cámara	No incorporada en un eje de movimiento	Incorporada en un eje de movimiento	Incorporada en un eje de movimiento además de incluir otro eje.
Dimensiones	20.5 x 3.5 x 11.8 pulgadas	17 x 17 x 8 pulgadas	14.6 pulgadas en forma diagonal
Batería/Tiempo de carga	3.7V 500mAh LiPO batería. 100 minutos	11.1V 5200mAh batería. 60 minutos	11.1V 7000mAh aproximadamente 180 minutos
Peso en el aire	0.4kg	1.0kg	1.06kg
Peso máximo con accesorios		1.2kg	1.46kg
Precio	120.99\$	532.46\$	520.99
Descripción Gráfica			

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente Montero Jaime, (2016), Todrone

En base a la descripción realizada en la Tabla 9 de algunos vehículos aéreos no tripulados y de las tablas de requerimientos del sistema se procede a realizar la elección del dron en la siguiente tabla.

Tabla 10. Selección del vehículo aéreo no tripulado en función de los requerimientos del sistema

REQUERIMIENTOS	VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS		
	Hubsan X4 PRO	DJI Phantom 2	Syma X5C Explorers
Tiempo de vuelo 20 minutos	●	●	○
Peso mayor a 1Kg	●	●	○
Soporta mayor peso extra	●	●	○
Cumple con las normas de la DGAC	●	●	●
Eje de soporte modificable	●	○	○
Posee control remoto	●	●	●
Conexión de pines externos	●	○	○
VALORACIÓN TOTAL	7	5	2

- **Cumple**
- **No cumple**

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Elección: De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en la Tabla 10 se logró determinar que el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO es el más adecuado para el desarrollo del proyecto debido a sus características técnicas y de diseño, puede tolerar un peso de 1.46kg, cuenta con un mayor tiempo de vuelo, dos tipos de ejes cardán para acoplamiento de cámaras o dispositivos externos además en su parte inferior del frame tiene 3 filas de pines de conexión para otros dispositivos.

3.3.1.1 Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.

El vehículo aéreo no tripulado es un elemento importante en el desarrollo del sistema debido a que cuenta en la parte inferior de su frame o marco con varios pines de conexión que son utilizados para la alimentación tanto del CC como del eje cardán donde se ubica. De esta manera la batería Li-Po que es la encargada de la alimentación del vehículo aéreo no tripulado también se encargará del suministro de energía del CC, sin embargo, debido a este consumo extra de energía el tiempo de vuelo disminuirá a menos de 20 minutos.

Vehículo aéreo no tripulado de dimensión diagonal 370mm, su peso sin accesorios es de 1.06kg y. Cuenta con una batería Li-Po de 3 celdas cuyo voltaje es 11.1V con amperaje de 7000mA lo que brinda un tiempo de vuelo de aproximadamente 25 minutos, cuenta con sistemas de navegación como GPS/brújula (posicionamiento global), barómetro (mantenimiento de altitud) y Orientación (mantener la posición). Puede ser operado por medio del modo de vuelo normal o por mantenimiento de altitud (para el vuelo de interior), se encuentra equipado con medidas de seguridad como lo es retorno automático a inicio que es activado por la pérdida de señal o usuario, aterrizaje automático activado por el voltaje de la batería baja además de aviso de batería baja en pantalla. Se puede apreciar con mayor claridad las características del drone en la Figura 30.



*Figura 30. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO
Fuente: (Hobbico Inc, 2015-2016)*

El vehículo aéreo no tripulado tolera un peso máximo de 1.46kg durante el período de vuelo. La energía que consume es suministrada por una batería Li-Po que cuenta con un voltaje de 11.1 voltios sin embargo cuando este voltaje disminuye a 8.4 voltios el vehículo aéreo no tripulado se apagará.

El vehículo aéreo no tripulado es controlado mediante un control remoto que permite al piloto realizar maniobras durante el periodo de vuelo como por ejemplo giro manteniendo su

posición de derecha a izquierda o viceversa, además permite el movimiento del CC por medio del eje cardán que realiza un giro en sentido vertical de alrededor 90° C.




3.3.2 Módulos cámaras.

Como se puede observar en uno de los requerimientos establecidos en la Tabla 7 “Requerimientos de Arquitectura del Sistema”, se encuentra detallado que los componentes electrónicos deben ser compatibles con la tecnología open-source. Por consiguiente, de todas las opciones que se encuentran disponibles en el mercado se opta por seleccionar el módulo cámara dentro de la línea de módulos Arducam que son compatibles con las placas procesadoras de Arduino.

Actualmente se exhiben en el mercado algunos modelos de este tipo de cámaras que varían dependiendo de la resolución y aplicación, estas cámaras pueden ser omnivisión o aptina. En la Tabla 11 se menciona algunos módulos de cámara de la línea de Arducam.

Tabla 11. Tabla de módulos Arducam Ominivisión

	OV7670	OV2640	OV5642
Modo de captura	Omnivisión	Omnivisión	Omnivisión
Tamaño óptico	1/6 pulgadas	1/4 pulgadas	1/4 pulgadas
Resolución	640 × 480 VGA	Hasta 2Mp	Hasta 5Mp
Suministro de energía	3.3 voltios	3.3 voltios	3.3 voltios
Tamaño del lente	6 mm		

Peso	18 gramos	20 gramos	25 gramos
Formato de salida	VGA		
Formato de compresión	No	JPEG	
Escudo Arducam	Si	Si	Si
Interfaz compatible	SCCE interfaz estándar compatible con la interfaz I2C	Interfaz estándar de SCCE	
Capacidad de calibración	Si		
Funciones de control automático de imágenes	Si	Si	
Nivel de Tensión	Bajo	Bajo	
Alta sensibilidad para la operación de poca luz.	Si	Si	
Aplicaciones	Sistemas portátiles embebidos	Sistemas portátiles embebidos	
Plataformas	Arduino, Arce, ChipKIT, STM32, ARM, DSP, FPGA	Arduino, Arce, chipKIT, STM32, ARM, DSP, FPGA	
Descripción Gráfica			

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente Arducam, (2015), Módulos Arducam

Con los módulos que se presentan en la Tabla 11 se procede a realizar la tabla de selección en donde se exponen los requerimientos que debe cumplir el módulo que conformara el sistema.

Tabla 12. Tabla de selección del módulo de captura de imágenes

REQUERIMIENTOS	MÓDULOS DE CAPTURA		
	OV7670	OV2640	OV5640
Peso inferior o igual a 20 gramos	●	●	○
Dimensión pequeña	○	●	○
Resolución 720x480 o mayor	●	●	●
Imagen JPEG	○	●	○
Baja tensión	●	●	○
Compatible con Arduino	●	●	●
VALORACIÓN TOTAL	4	6	2

● **Cumple**
○ **No cumple**

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Elección: Como resultado de la selección realizada en la Tabla 12, se determinó que el módulo más apto para cumplir con la función de captura de los fotogramas es el módulo OV2640, porque cumple con características técnicas y físicas como por ejemplo resolución configurable de hasta 2 Megapíxeles, formato de salida de la imagen JPEG, peso de 20 gramos, pequeñas dimensiones y bajo consumo de energía lo hacen adecuado para el sistema.

3.3.2.1 Módulo cámara OV2640.

Módulo tipo cámara de 1/4 de pulgada de tamaño de sensor, tiene un peso de 20 gramos, contiene soporte de montaje de lente M12 que permite más opciones de lentes, posee formato de compresión JPEG, funciones de control automático de imágenes su tamaño y bajo consumo de corriente lo hacen ideal para aplicaciones en sistemas embebidos, se puede observar el módulo a continuación en la Figura 31.



Figura 31. Módulo cámara OV2640

Fuente: (Arducam, 2015)

El módulo OV2640 establece que el rango de temperatura válido para que la imagen sea estable es de 0°C a 50°C.

La calidad de la imagen es medida en píxeles, la resolución está definida entre el rango de 160x120 (baja calidad) a 1600x1200 (2 Megapíxeles), para la funcionalidad del sistema se utilizará una resolución de 800x600.

Tiene una relación directa con el escudo Arducam Rev.C ya que este es un tablero que permite el control de la cámara.

3.3.2.2 Escudo ArduCAM Rev.C.

ArduCAM es un tablero de control para módulos de cámaras compatibles con Arduino, tiene un peso de 50g y su dimensión es de 99x59mm, como se puede observar en la Figura 32. Proporciona una interfaz fácil de utilizar, así como una lista de bibliotecas de software, soporta módulos de cámara de 0,3 MP a 5MP con sensores omnivisión o aptina con diferente formato como RAW, RGB, YUV, JPEG lo que hace que sea la solución ideal para aplicaciones de IO además puede ser acoplado con diferentes versiones de Arduino. (Arducam, 2015)

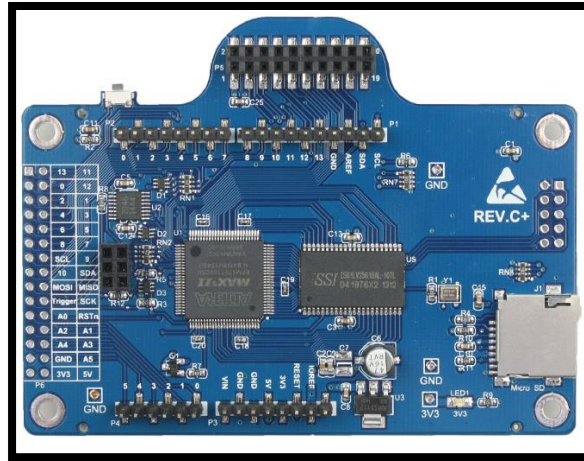


Figura 32. Escudo ArduCAM Rev.C +

Fuente: (Arducam, 2015)

El escudo Arducam Rev.C puede operar sin dificultad entre el rango de -10°C a aproximadamente $+50^{\circ}\text{C}$ además todos los pines pueden operar en el rango de 5 a 3 voltios.

El escudo Arducam Rev.C+ es el que permite el control del sensor tipo cámara OV2640 mediante la programación realizada en el Arduino Mega 2560 debido a que este se encuentra en contacto con ambos elementos electrónicos.




Cuando opera en modo de captura individual o única, después de emitir una orden de captura a través del puerto SPI, la ArduCAM esperará un nuevo marco y amortigua los datos de imágenes enteras para el registro de cuadro, y luego afirma el bit indicador de finalización en el registro. Mientras que cuando opera en modo de captura múltiple establece el número de tramas en el registro de captura, la ArduCAM capturará consiguientes marcos después de emitir el comando de captura sin embargo se debe tener en cuenta que el número de fotogramas no superen el espacio máximo de memoria.

3.3.3 Placa de Procesamiento Arduino

Arduino cuenta con una amplia variedad de módulos que se ajusta a las necesidades y requerimientos de los desarrolladores, la Tabla 13 presenta un resumen de los módulos presentados en la Tabla 6.

Tabla 13. Placas de Procesamiento Arduino

	Arduino Uno	Arduino Leonardo	Arduino Mega 2560
Placa Electrónica	ATmega328P	Atmega32u4	Atmega1280
Numero de pines	14	20	54
Peso	40 gramos	20 gramos	37 gramos
Pines análogos	6	12	16
Pines PWM	6	7	14
Oscilador de Cristal	16MHz	16MHz	16MHz
Memoria de programa (Flash)	32Kb	32Kb	256Kb
Memoria de Datos (SRAM)	2Kb	2.5Kb	8Kb
Memoria Auxiliar (EEPROM)	1Kb	1Kb	4Kb
Pines UART	2	2	4

Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V
Voltaje recomendado	7-12V	7-12V	7-12V
Voltaje límite	6-20 V	6-20 V	6-20V
Conexión	USB	micro USB	USB
Descripción Gráfica			

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente Arduino (2016), Placas Arduino

Con los módulos que se presentan en la Tabla 13 se procede a realizar la siguiente tabla en donde se exponen los requerimientos que debe cumplir las placas procesadores tanto para el CC como para el IU.

Tabla 14. Tabla de selección de las placas de procesamiento para el CC y el IU

REQUERIMIENTOS	PLACAS DE PROCESAMIENTO		
	Arduino Uno	Arduino Leonardo	Arduino Mega 2560
Peso menor a 40 gramos	○	●	●
Dimensión pequeña	●	●	○
Mayor procesamiento	○	○	●
Dos o más 2 pines UART	○	●	●
Compatible con módulos de Arducam	●	●	●
Compatibles con el escudo Arducam	○	○	●
VALORACIÓN TOTAL	2	4	5

●Cumple
○ No cumple

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Elección: De acuerdo a la valoración obtenida por medio de la Tabla 13 se estableció que la placa Arduino Mega 2560 es ideal para el CC debido a sus características en lo referente a su número total de pines, capacidad de almacenamiento y sus 4 pines destinados para conexión UART, aunque esta placa sea unos gramos más pesada que el Arduino Leonardo, sus otras características se ajustan a las necesidades del proyecto. Sin embargo, la placa de procesamiento Arduino Leonardo al contar con un mínimo de 2 pines UART, dimensiones pequeñas y una buena memoria de procesamiento puede ser utilizada en el IU.

3.3.3.1 Placa de procesamiento Arduino Mega 2560.

La función que cumple la placa de desarrollo Arduino en el sistema es la interconexión con los otros elementos electrónicos, el procesamiento de los datos obtenidos desde el IU y CC, interpreta los datos recibidos y ejecuta una orden programada de manera casi instantánea.

La placa de procesamiento Arduino Mega 2560 está basado en el microcontrolador ATmega2560 sus dimensiones en longitud y ancho son 101.52mm-53.3mm respectivamente como se puede observar en la Figura 33, con un peso de 37g, cuenta con 54 pines de entradas/salidas digitales de las cuales 14 pueden ser utilizadas como salidas PWM, 16 como entradas análogas, 4 pines UART, posee un cristal oscilador de 16 Mhz, conexión USB y puede ser programado con la utilización del programa IDE propio de Arduino. (Arduino, 2016)



Figura 33. Placa de Procesamiento Arduino MEGA 2560

Fuente: (Arduino, 2016)

La placa de procesamiento puede funcionar con un voltaje de entrada recomendable de 7 a 12 voltios. Se puede suministrar menos de 7V, sin embargo, el pasador de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa se puede volver inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa.

El procesamiento de los datos en la placa Arduino Mega se realiza en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring.

3.3.3.2 Placa de procesamiento Arduino Leonardo.

La placa de procesamiento Arduino Leonardo cumple la función de interconexión con el módulo de comunicación inalámbrica mediante la utilización de su canal serial1 y la conexión con el ordenador donde se encuentra el software de recepción de imágenes mediante su otro puerto serial, estableciendo de esta manera un canal de comunicación entre el IU y el CC.

La placa de procesamiento Arduino Leonardo está basado en el microcontrolador ATmega32u4 sus dimensiones en longitud y ancho son 68.6 x 53.3mm respectivamente como se puede observar en la Figura 34, con un peso de 20g, cuenta con 20 pines de entradas/salidas digitales de las cuales 7 pueden ser utilizadas como salidas PWM, 12 como entradas análogas, 2

pinos UART, posee un cristal oscilador de 16 Mhz. Esta placa difiere de todas las demás placas de Arduino ya que ha incorporado la comunicación USB, eliminando la necesidad de un procesador secundario permitiendo que aparezca en una PC conectado como si fuese un ratón o un teclado, además de un puerto serial / COM, además puede ser programado con la utilización del programa IDE propio de Arduino. (Arduino, 2016)

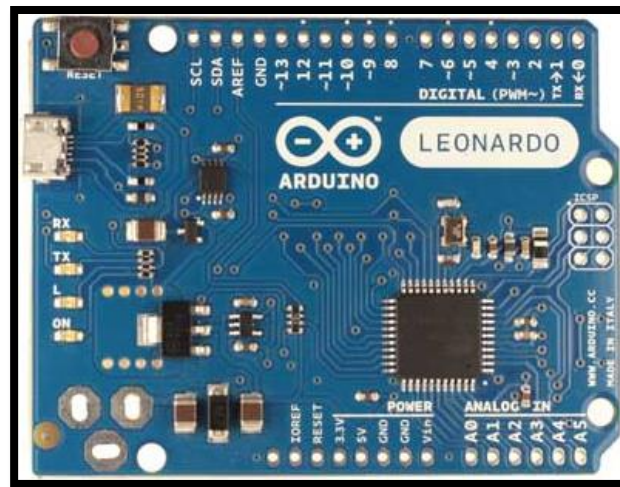


Figura 34. Placa de Procesamiento Arduino Leonardo


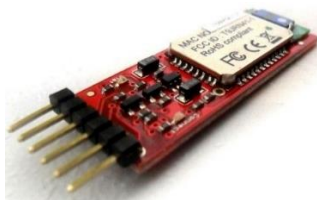

Fuente: (Arduino, 2016)

La placa de procesamiento puede funcionar con un voltaje de entrada recomendable de 7 a 12 voltios. Se puede suministrar menos de 7V, sin embargo, el pasador de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa se puede volver inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

3.3.4 Módulos de comunicación inalámbrica.

A continuación, se presenta en la Tabla 14 algunos módulos de comunicación inalámbrica entre los cuales se pueden observar Wifly, Xbee, y Bluetooth.

Tabla 15. Tabla comparativa de módulos de comunicación inalámbrica

	Módulo Wifly RN 171 o RN171	Bluetooth RN-41	Xbee
Velocidad de Transferencia	1-11 Mbps para 802.11b y de 6-54Mbps para 802.11g	Hasta 3Mbps	250Kbps
Alcance	Hasta 100 metros	Hasta 100 metros	90 metros
Estándar IEEE	802.11 b/g	802.15.1	802.15.4
Suministro de Energía	De 3V a 3.3 V	3.3V	3.3V
Certificado	Por la FCC/ CE/ IC	Por la FCC	Por la FCC
Configuración	Vía UART o inalámbrica mediante comandos ASCII	Vía UART	Local o por RF
Peso	0,025kg (incluye placa reguladora)	0,0016kg	
Dimensiones	27 x 18 x 3,1 mm	13.4mm x 25.8mm x 2mm	2.43cm x 2.76cm
Frecuencia	2.402 - 2.480 GHz	2.402 - 2.480 GHz	2.4GHz
Costo	34,95\$	25,95\$	25,95\$
Descripción Gráfica			

Fuente: Elaborado por Ana Morales, fuente SparkFun Electronics, (2015), Módulos Inalámbricos

En base a la descripción realizada en la Tabla 15 de algunos módulos de comunicación inalámbrica, y de los requerimientos generales del sistema, la elección de este componente electrónico se fundamenta por los requerimientos expresados en la Tabla 16.

Tabla 16 Selección del módulo de comunicación inalámbrica en función de los requerimientos del sistema

REQUERIMIENTOS	MÓDULOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA		
	Wifly RN-171	Bluetooth RN-41	Xbee
Peso inferior o igual a 10 gramos	○	●	●
Dimensión pequeña	●	●	●
Alcance aproximado 100m	●	●	○
Bajo costo	●	●	●
Alta tasa de transmisión	●	●	○
Baja tensión	●	●	●
VALORACIÓN TOTAL	5	6	4

● **Cumple**
○ **No cumple**

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Elección: Los módulos que se muestran en la Tabla 16 se caracterizan por ser utilizados en sistemas embebidos, automatización de casas, telemetría entre otras aplicaciones debido a su bajo peso, poco consumo de corriente y bajo coste económico. Mediante los requerimientos establecidos en la Tabla 13 se ha logrado determinar que la mejor opción para el sistema es el módulo Bluetooth RN-41 porque sus características se ajustan a las necesidades del sistema y en especial a su alta velocidad de transmisión de datos.

3.3.4.1 Módulo de comunicación inalámbrica Bluetooth RN-41

Módulo de comunicación inalámbrica de clase 1 basado en el estándar IEEE 802.15.1, bluetooth versión 2.1, sus dimensiones son de 13.4x25.8x2mm como se puede observar en la Figura 35, con un peso de 1.56 gramos, la tasa de velocidad de transferencia entre 9600 a 115200

baudios, ofrece una velocidad de datos de hasta 3 Mbps para distancias de hasta 100 metros, conexión con datos UART y USB, consumo de corriente en recepción de 25mA.

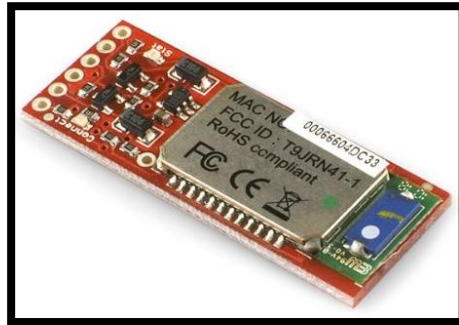


Figura 35. Módulo Bluetooth RN-41

Fuente: (Sparkfun, 2015)

El módulo de comunicación bluetooth RN-41 opera sin dificultad entre el rango de -40°C a aproximadamente $+70^{\circ}\text{C}$ y trabaja en el rango de 3.3 a 5 voltios.

El bluetooth RN-41 permite el establecimiento de la comunicación inalámbrica entre la IU y el CC porque forma parte de la interfaz inalámbrica de comunicación.

Debido a que el modulo está basado en el estándar IEEE 802.15.1 el formato para la comunicación son los paquetes, soportando una tasa de transmisión de hasta 3 Mbps.

3.3.5 Peso aproximado del sistema.

El funcionamiento del sistema depende en gran medida de la cantidad de peso que lleve consigo el vehículo aéreo no tripulado porque mayor peso se traduce en mayor consumo de energía y como resultado menor tiempo de vuelo. A continuación, se detalla en la Tabla 17 todos los componentes electrónicos que se ubicaran en el drone Hubsan X4 PRO con sus respectivos pesos.

Tabla 17. Elementos electrónicos ubicados en el vehículo aéreo no tripulado con sus respectivos pesos

Descripción	Peso
Módulo cámara OV2640	20 gramos
Escudo ArduCAM Rev.C	50 gramos
Arduino Mega 2560	37 gramos
Módulo de comunicación inalámbrica	10 gramos
Drone Hubsan X4 PRO	1,115gramos
Protecciones	108 gramos
Eje Cardán	95 gramos
PESO TOTAL	1,425 GRAMOS

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Como se puede observar en la Tabla 17 el peso total del vehículo aéreo no tripulado es de aproximadamente 1,425 gramos, valor que se encuentra dentro del límite de peso máximo (1,460 gramos) que tolera el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO que fue seleccionado para el desarrollo del proyecto.

3.4 Arquitectura de diseño.

3.4.1 Diagrama de bloques del sistema.

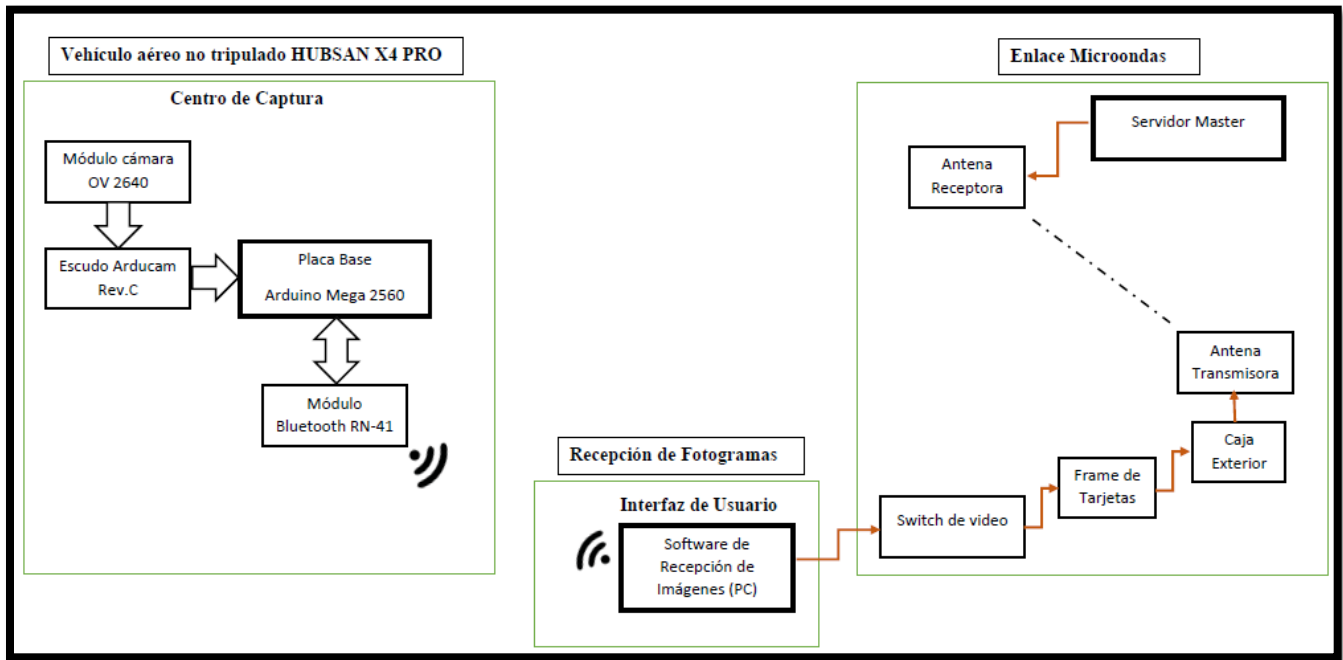


Figura 36. Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 36 se representa el funcionamiento general del sistema, las secciones que lo conforman están representadas por caracteres numéricos la cuales se explicarán a continuación:

1. Esta sección corresponde a la manipulación del vehículo aéreo no tripulado por parte del piloto y la comunicación que se realiza entre el CC que se encuentra ubicado en el eje cardán perteneciente al dron Hubsan X4 PRO y el IU los cuales son los responsables de la transmisión de imágenes a la PC la cual es manipulada por el operador.
2. La segunda sección corresponde a la transmisión de los fotogramas que se capturaron y almacenaron en la primera sección, la transmisión de las imágenes se realizará por medio del equipo móvil con el que cuenta el canal universitario, en especial con el convertor

análogo que se conecta directamente a la PC y también a los equipos de transmisión del canal.

3. La tercera sección corresponde a la transmisión de las imágenes al servidor master ubicado en las instalaciones del canal universitario mediante los equipos con los que cuenta, las antenas de recepción y transmisión microondas son los componentes con mayor relevancia debido a que ellos conforman en enlace terrestre de transmisión.

3.4.2 Diagramas de flujo.

Los diagramas de flujo constituyen una sección muy importante para el desarrollo de la lógica de programación de los componentes que conforman el sistema. Esta clase de diagrama se diseña previo al desarrollo de los programas, debido a brindan una perspectiva rápida de funcionamiento además de servir de guía de programación ya que en base a este se realiza el programa final. A continuación, se presentan los diagramas de flujo requeridos para el funcionamiento del sistema.

3.4.2.1 Diagrama de Flujo del IU

El programa que conforma el IU debe realizar la conexión inalámbrica con el módulo que se encuentra ubicado en el CC, una vez que se realice la conexión entre ambos el IU envía un mensaje por el canal serial para que se proceda con la captura del fotograma, una vez que la captura se haya realizado en el CC retorna el fotograma por el mismo canal serial por lo cual el IU debe leer el canal serial continuamente y si encuentra datos en el canal los almacena en una variable para posteriormente enviar la variable por otro canal serial a la PC en donde se recibe el fotograma y se procede a almacenarlo. El proceso que se describió puede observarse con mayor claridad en la Figura 37.

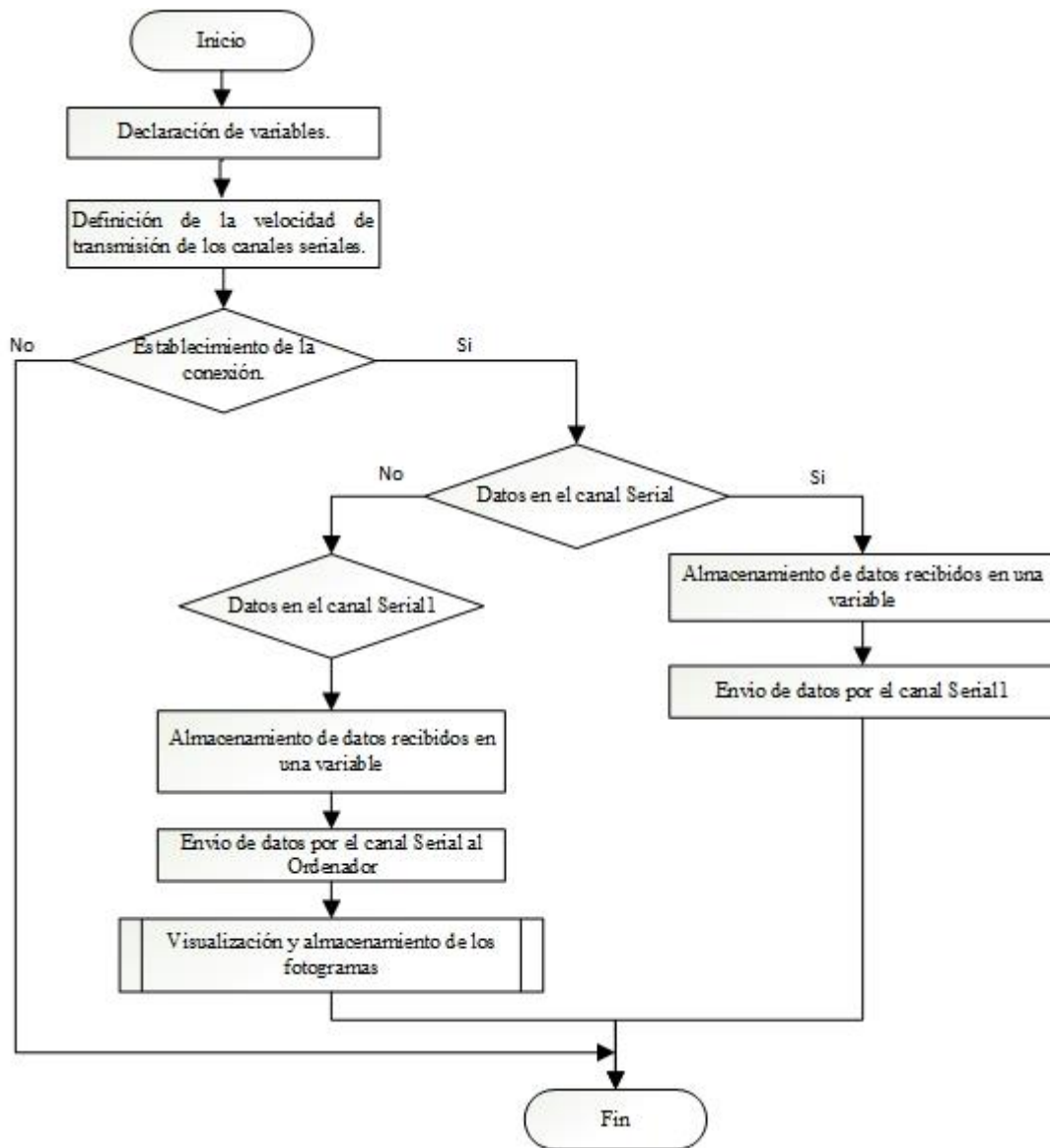


Figura 37. Diagrama de bloques correspondiente al IU

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.4.2.2 Diagrama de Flujo del CC

El programa que conforma el CC debe vincularse con el módulo inalámbrico ubicado en el IU, una vez que se realice la vinculación con éxito el programa empieza a leer el canal de comunicación inalámbrico, si encuentra la orden que se emite desde el IU para realizar la captura del fotograma, el programa empieza por realizar una comparación con los diferentes formatos de

imágenes hasta que encuentre el formato que se declaró en un inicio que es de 800x600 pixeles, si el programa ya encontró el formato requerido se procede a emitir la orden de captura del fotograma en el formato antes mencionado al módulo de captura OV2640 , para completar el mapa de bits se utiliza el algoritmo FIFO(primero en entrar primero en salir) y una vez que se haya completado el mapa de bits se envía el mapeado mediante la utilización de una librería que lo transforma en datos hexadecimales para que se envíen al IU, cuando el envío ha finalizado se procede a borrar el mapa de bits para poder realizar otra captura. El proceso que se describió puede observarse con mayor claridad en la Figura 38.

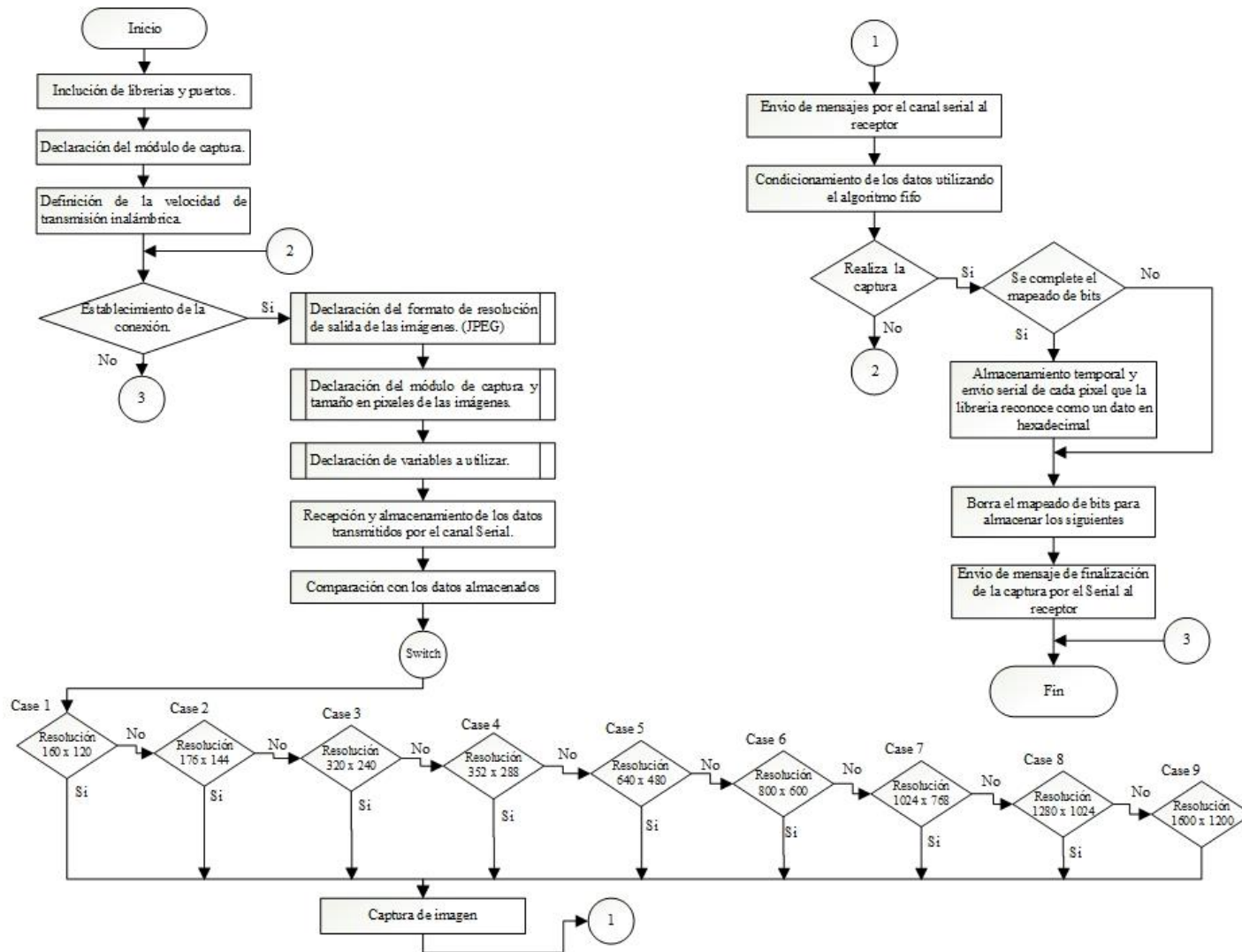


Figura 38. Diagrama de flujo correspondiente al CC

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.4.3 Diagrama de conexión.

La Figura 39 muestra el diagrama de conexión correspondiente a cada uno de los elementos electrónicos que conforman el Centro de Captura, permitiendo tener una correcta guía en lo concerniente a la ubicación y conexión de los elementos entre sí.

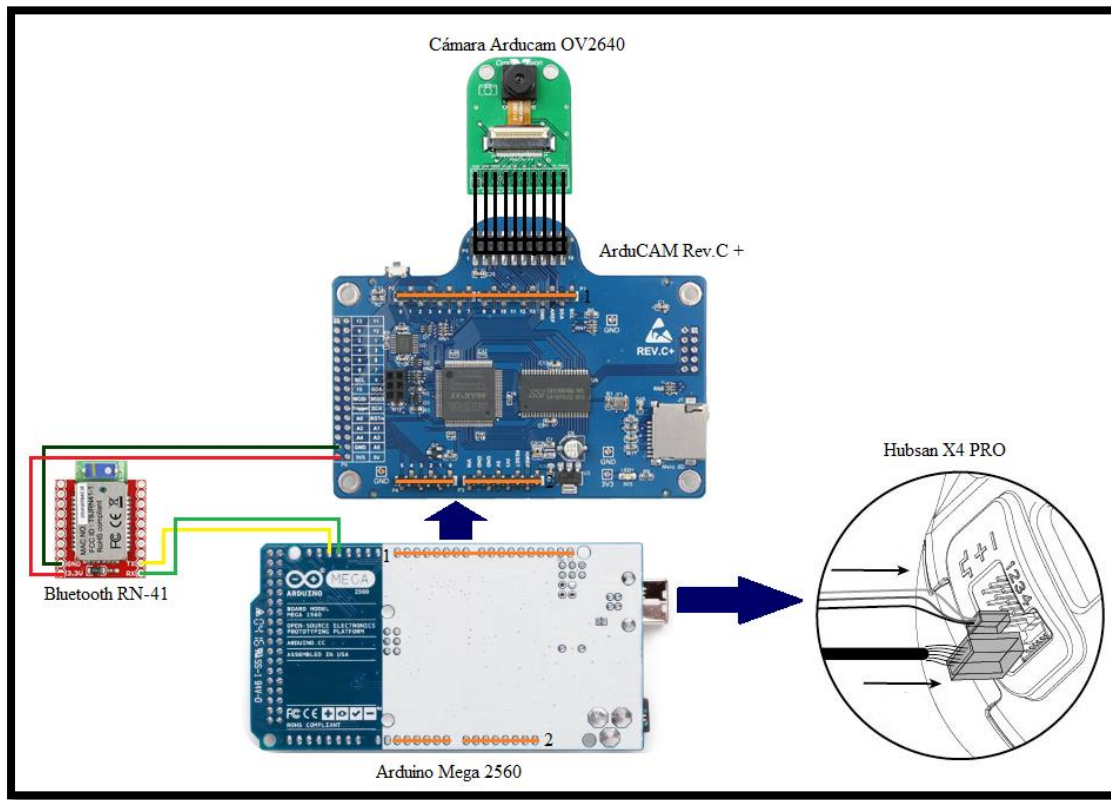


Figura 39. Diagrama de conexión correspondiente al CC

Fuente: Elaborado por Ana Morales

El diagrama que se muestra a continuación en la Figura 40 corresponde a la Interfaz de Usuario, consta de la placa procesadora Arduino Leonardo y el módulo de comunicación bluetooth RN-41, mismos que se vinculan a un ordenador mediante un cable Micro-USB.

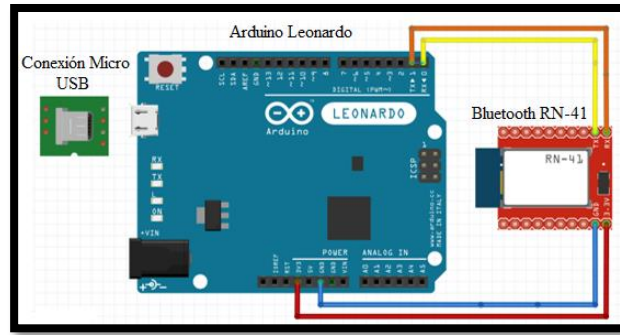


Figura 40. Diagrama de conexión correspondiente al IU

Fuente: Simulador Fritzing

3.5 Integración de los componentes del prototipo.

Una vez determinados los componentes electrónicos que intervendrán en el sistema y teniendo claro el funcionamiento del mismo mediante la elaboración de los diagramas de flujo y diagramas de bloques se procede al diseño del primer prototipo, ubicación de los elementos en el eje cardán, fuente de alimentación de los componentes electrónicos.

3.5.1 Elementos indicadores del prototipo.

Los elementos que intervienen en el sistema electrónico se dividirán en dos secciones la primera sección corresponde a los elementos ubicados en el vehículo aéreo no tripulado mientras que la segunda sección corresponde a los elementos ubicados en el receptor de las imágenes es decir junto al ordenador que será el responsable del almacenamiento de las imágenes. Adicionalmente a los componentes antes mencionados también se incluirán los equipos microondas encargados de la transmisión de las imágenes al servidor master.

3.5.1.1 Luces led del drone Hubsan X4 PRO.

Cuenta con luces led ubicadas en la parte inferior de las extremidades del frame las cuales dependiendo del color indican el estado del vehículo aéreo no tripulado, como se observa en la Figura 41. Cada vez que se enciende y el sensor toca una base firme las luces se tornan color rojo

como señal de que se puede proceder a la calibración del drone en forma vertical y horizontal, una vez que se realice la calibración el color de las luces led se torna blanco con rojo lo que indica que ya está listo para ser utilizado.

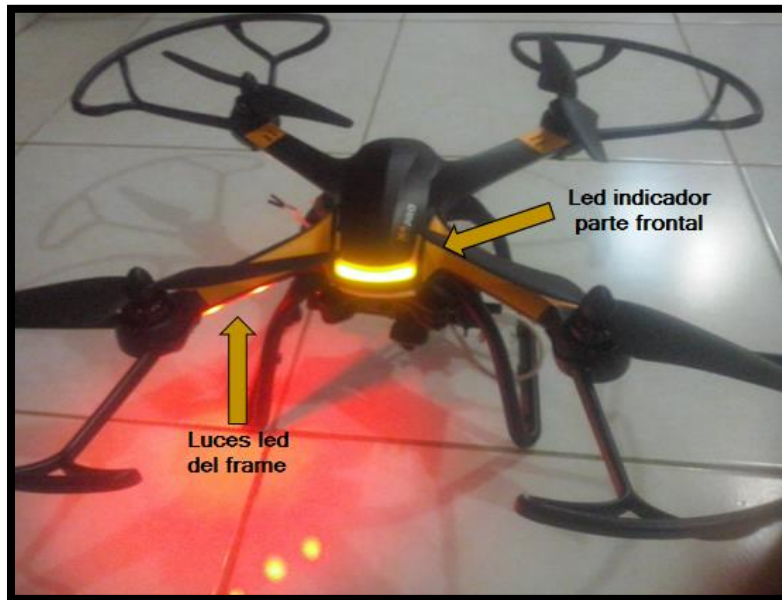


Figura 41. Luces Led del drone Hubsan X4 PRO
Fuente: Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

3.5.1.2 Eje Cardán.

El eje cardán es situado en la parte inferior del frame del vehículo aéreo no tripulado, provee movimiento al CC con un ángulo de movimiento de hasta 90° en el eje y, el movimiento de este es controlado por medio del control remoto del vehículo aéreo no tripulado, en la Figura 42 se puede observar el eje cardán ubicado en el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO.

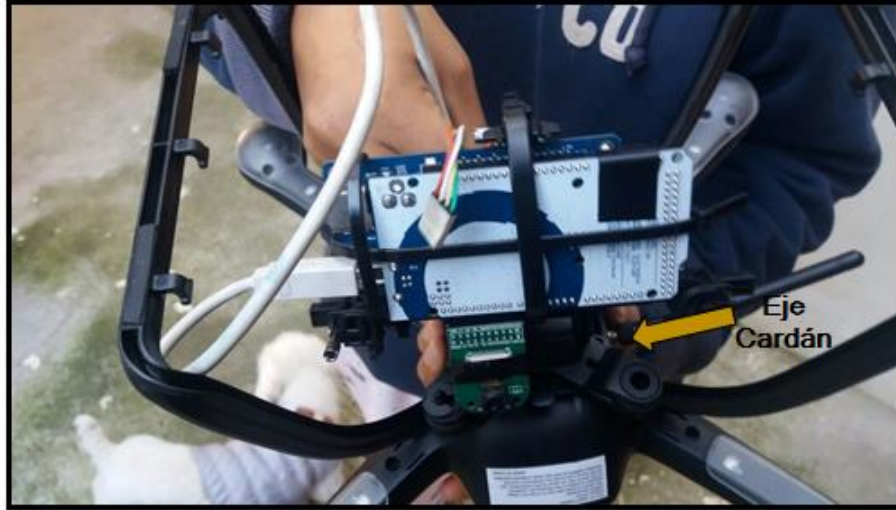


Figura 42. Eje cardán ubicado en el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.5.1.3 Establecimiento de conexión entre el CC e IU.

El establecimiento de conexión entre las dos interfaces se realiza por medio de los módulos inalámbricos los cuales cambian de color rojo a verde en el momento que se realiza una conexión exitosa, como se puede observar en la Figura 43.

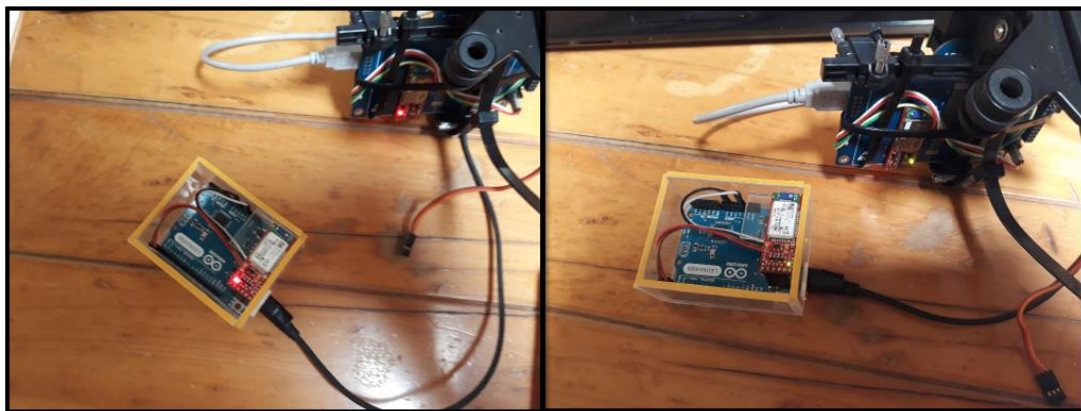


Figura 43. Establecimiento de conexión entre el CC e IU

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.5.1.4 Programa de recepción de imágenes.

Con el propósito de cumplir con el principal objetivo del proyecto las imágenes serán enviadas mediante los módulos inalámbricos al programa receptor que se muestra en la Figura 44, el cual es el responsable de la recepción, visualización y almacenamiento del fotograma captado.

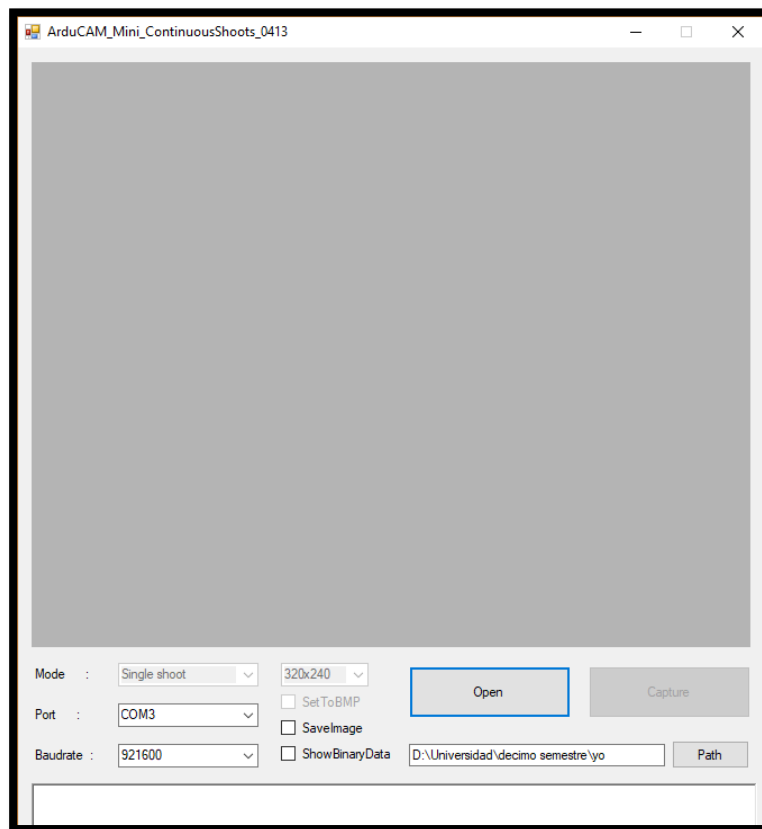


Figura 44. Programa de recepción de imágenes

Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

3.5.2 Ubicación de los elementos en el CC.

La ubicación de los elementos electrónicos en el eje cardán es un factor muy importante a tomar en cuenta debido a que el eje requiere de un determinado ángulo de flexibilidad libre de obstáculos para su movilidad. Sabiendo esto se procede a la ubicación de los componentes de manera que no interfieran con la movilidad del eje cardán.

3.5.2.1 Ubicación de la placa procesadora y del escudo Arducam.

La placa procesadora Arduino Mega 2560 y el escudo Arducam están diseñados de manera que pueden acoplar sus pines entre ellos, dejando libres pines que se requieren para la conexión de los demás elementos. Como ambos componentes se acoplan entre ellos se requiere de un solo espacio para colocarlos, por tal motivo se ubican justo en el medio del eje cardán y con ayuda de sus soportes y tornillos se ajustan las placas al armazón del eje, tal como se puede observar en la Figura 45.

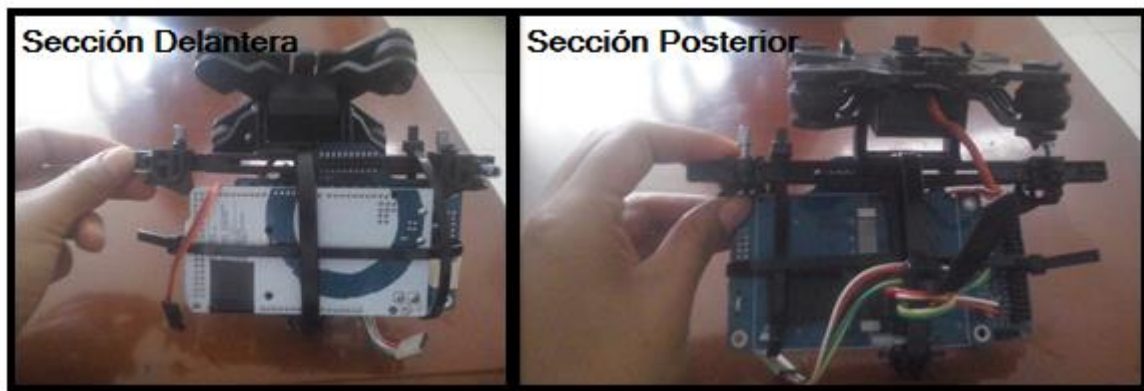


Figura 45. Ubicación de la placa Arduino Mega 2640 y del escudo Arducam en el armazón del eje cardán

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.5.2.2 Ubicación del módulo de capturas.

Una vez que se haya colocado correctamente la placa procesadora y el escudo Arducam en el armazón del eje cardan se procede a colocar el módulo de captura de imágenes OV2640 en los pines superiores del escudo Arducam como se puede observar en la Figura 46 ya que se comprobó que no afecta en el movimiento del eje cardán.



Figura 46. Ubicación del módulo OV2640 en los pines de conexión del escudo Arducam

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.5.2.3 Ubicación del módulo de comunicación.

La ubicación del módulo de comunicación inalámbrica se lo realiza en la parte posterior del escudo Arducam como se puede observar en la Figura 47 debido a que se debe conectar a los pines de Rx y Tx de la placa procesadora y como consecuencia a que sus pines de alimentación se conectan a los pines de alimentación del escudo Arducam.

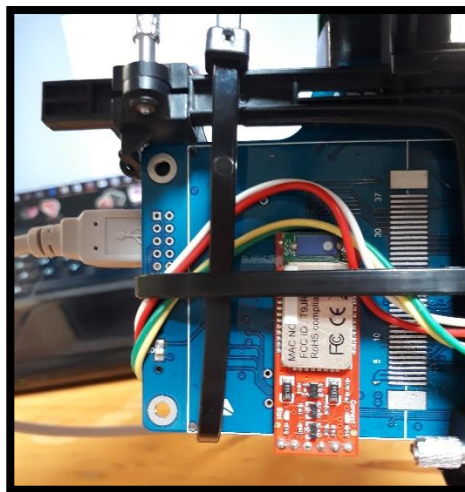


Figura 47. Ubicación del módulo de comunicación inalámbrica

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.5.3 Colocación del eje cardán y conexión de los elementos

El CC es ubicado en el eje cardán, una vez que el eje cardán sea ubicado en el frame (revisar Anexo 3 sección 4) se procede a la conexión tanto del eje cardán como del CC en los pines externos del drone Hubsan X4 PRO, tal como se observa en la Figura 48.

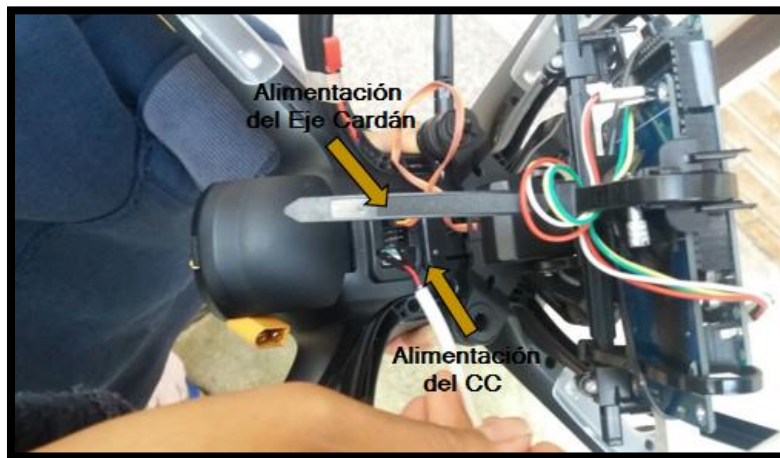


Figura 48. Alimentación del eje cardán y el CC

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.5.4 Ubicación de los elementos en el IU.

En el IU se encuentra el módulo receptor bluetooth RN-41 junto con la placa procesadora Arduino Leonardo que se vincula con el ordenador mediante un cable micro-USB para la recepción de los fotogramas. Para la ubicación de estos elementos se optó por diseñar un compartimiento en acrílico en base al diseño que presenta la placa procesadora y una estantería de aproximadamente 2 cm x2 cm a 3.5cm de la base para la ubicación del módulo de transmisión, tal como se muestra en la Figura 49.

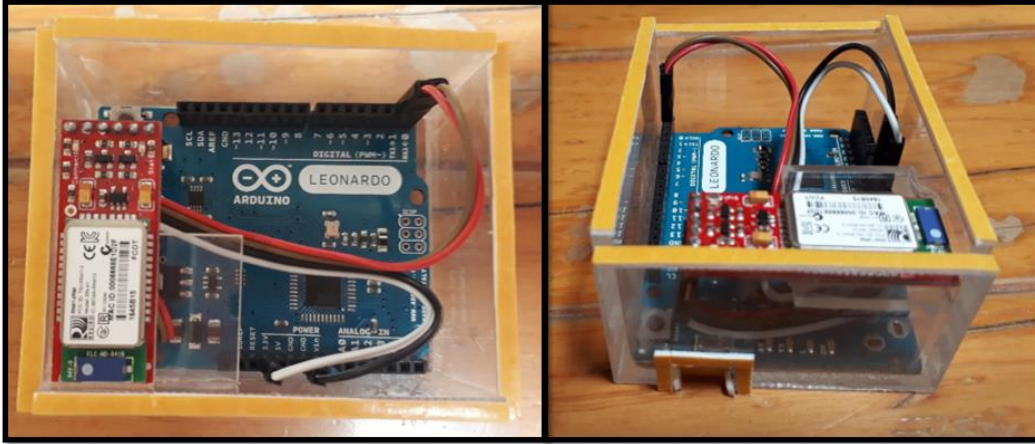


Figura 49. Ubicación de los elementos correspondientes al IU

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.6 Pruebas y resultados de funcionamiento del Prototipo.

En esta etapa se procede a realizar las pruebas de funcionamiento para validar el funcionamiento del sistema. El objetivo principal de las pruebas es determinar si el sistema cumple con los objetivos planteados en el Capítulo I.

El escenario y condiciones en las que se realicen las pruebas tienen mucha influencia en los resultados que se llegaran a obtener, debido a que, al tratarse de un vehículo de vuelo, el factor climático es un punto muy importante a tomar en cuenta.

3.6.1 Etapas de prueba.

Concluidas las etapas de diseño se procede con la ejecución de las pruebas de funcionamiento, las cuales se procederá a realizar en base a los bloques que conforman el sistema. Las pruebas de funcionamiento se realizarán en el orden que se detalla en la Tabla 18, en la cual se detalla el tipo de prueba a realizar, el espacio requerido, condiciones para realizar la prueba y resultados obtenidos.

Tabla 18. Cronograma de desarrollo de las pruebas de funcionamiento del Sistema de Captura de Imágenes

CRONOGRAMA DE DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			
TIPO DE PRUEBA	ÁREA DE DESARROLLO DE LA PRUEBA	RESULTADOS ESPERADOS	TIEMPO DE DURACIÓN DE CADA PRUEBA
<p>SECCIÓN 1:</p> <p>Comprobación de funcionamiento del módulo de captura de imágenes OV2640, y la calidad de la imagen tomando en cuenta la cantidad de luz presente en el ambiente.</p>	<p>La prueba del módulo cámara OV2640 se realizará en espacios abiertos.</p>	<p>Se espera que la calidad de la imagen y el formato cumplan con los requerimientos del sistema.</p>	<p>A distintas horas del día entre el horario de 6 am a 6 pm con la finalidad de comprobar la calidad de las imágenes con distintas cantidades de luz.</p>
<p>SECCIÓN 2:</p> <p>Comunicación con los módulos de comunicación inalámbrica.</p>	<p>En espacios abiertos.</p>	<p>La comunicación debe realizarse con éxito y el área de cobertura debe no debe ser mínima.</p>	
<p>SECCIÓN 3:</p> <p>Movimiento del eje cardán con los componentes electrónicos ya ubicados.</p>		<p>Movimiento del eje cardán con un ángulo aproximado de 90°.</p>	
<p>SECCIÓN 4:</p> <p>Comprobación de los controles de vuelo del vehículo aéreo no tripulado.</p>	<p>Al aire libre y en un área en la que no estén presentes muchas personas.</p>	<p>Correcto manejo del vehículo aéreo no tripulado, estabilidad y control en el vuelo por parte del piloto,</p>	<p>Duración de la batería Li-Po que es de aproximadamente 15-20 minutos.</p>
<p>SECCIÓN 5:</p> <p>Comprobación final del sistema.</p>	<p>Al aire libre y en un área despejada (libre de árboles, cables de alta tensión y gentío)</p>	<p>Cumplir con los objetivos planteados en el Capítulo I.</p>	<p>Duración de la batería Li-Po que es de aproximadamente 15-20 minutos.</p>

Fuente: Elaborado por Ana Morales

3.6.1.1 Sección 1.

En esta sección se procedió a comprobar la calidad de las imágenes obtenidas por el módulo OV2640 en horario diurno es decir entre el rango de 6 de la mañana a 6 de la tarde, con la finalidad de comprobar si la calidad de los fotogramas es igual. El código de que ejecuta para el funcionamiento del módulo cámara se encuentra detallado en el Anexo 8.

En las Figuras que se presentan a continuación se pueden observar tres fotogramas los cuales fueron capturados en horas de la mañana, medio día y tarde.



Figura 50. Fotograma captado en horas de la mañana

Fuente: Módulo cámara OV2640

El fotograma que se puede observar en la Figura 50 fue captado en horas de la mañana con presencia de mucha luz solar, como se puede observar la calidad de la imagen es muy buena además cumple con el formato establecido dentro del Capítulo I.



Figura 51. Fotograma captado a medio día
Fuente: Módulo cámara OV2640

En la Figura 51 se puede apreciar un fotograma captado a medio día, en este caso el fotograma fue realizado en condiciones normales o luz natural, por lo tanto, se puede evidenciar que el módulo tipo cámara puede realizar la captura de fotogramas en estas condiciones climáticas sin ningún inconveniente.



Figura 52. Fotograma captado en horas de la tarde
Fuente: Módulo cámara OV2640

En la Figura 52 se observa un fotograma captado en horas de la tarde, sin alta concentración de luz natural, sin embargo, la imagen capturada es de muy buena calidad como se puede observar

el balance de colores y la imagen son muy buenos, no presentan distorsión tampoco se muestran opacos.

Como se puede observar en las anteriores Figuras la calidad de los fotogramas se mantiene debido a que módulo cámara OV2640 cuenta con funciones de control automático de imágenes y controles de calidad de la misma. Comprobando de esta manera que el módulo cámara seleccionado cumple con el requerimiento del sistema de estar en la capacidad de capturar fotogramas a distintas horas del día.

3.6.1.2 Sección 2.

En esta sección se procedió a comprobar la comunicación con los módulos de comunicación inalámbrica bluetooth RN-41 con la finalidad de realizar la transmisión de los fotogramas. Los módulos se encuentran configurados de manera que la autenticación con la IU se realiza por medio de un puerto de comunicación COM. La configuración de los módulos de comunicación inalámbrica se puede mirar a detalle en el Anexo 6, se explica su configuración y vinculación al IU.

La prueba de funcionamiento de los módulos se realiza con la finalidad de comprobar que existe la transmisión de imágenes entre el CC y el IU, además de comprobar que los módulos cumplen con los requerimientos del sistema y que los fotogramas se transmiten en un tiempo promedio de 5 segundos y que su calidad se mantiene.

En la Figura 53 se puede observar como el programa se encarga de recibir, visualizar y guardar el fotograma enviado desde el CC, con una velocidad de transmisión de 57600 y por medio del puerto de comunicación COM 4 permite la comunicación con el CC.



Figura 53. Visualización del fotograma transmitido desde el CC al IU

Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

Como se puede comparar entre las Figuras capturadas y enviadas directamente a la PC en la sección 1 y la Figura 53 en la cual el fotograma es enviado inalámbricamente desde el CC al IU, la calidad de la imagen se mantiene, el mapa de bits se transmite exitosamente sin tener pérdida de datos que se traduzcan en imágenes mal pixeladas. Cumpliendo de esta manera con los objetivos planeados dentro de esta sección.

3.6.1.3 Sección 3.

Como se ha comprobado el funcionamiento de los componentes que conforman el CC en secciones anteriores al igual que el control del vehículo aéreo no tripulado, esta sección se centra

en la comprobación de la ubicación de los elementos electrónicos que conforman el CC en el eje cardán.

Su comprobación se realiza en función de la movilidad que siga manteniendo el eje cardán con la inclusión de los componentes que conforman el CC. La ubicación de los componentes se puede revisar en la etapa de diseño concerniente a “Ubicación de los elementos en el CC”. A continuación, se puede apreciar en la secuencia de imágenes que se encuentran en la Figura 54 el eje cardán y el CC.

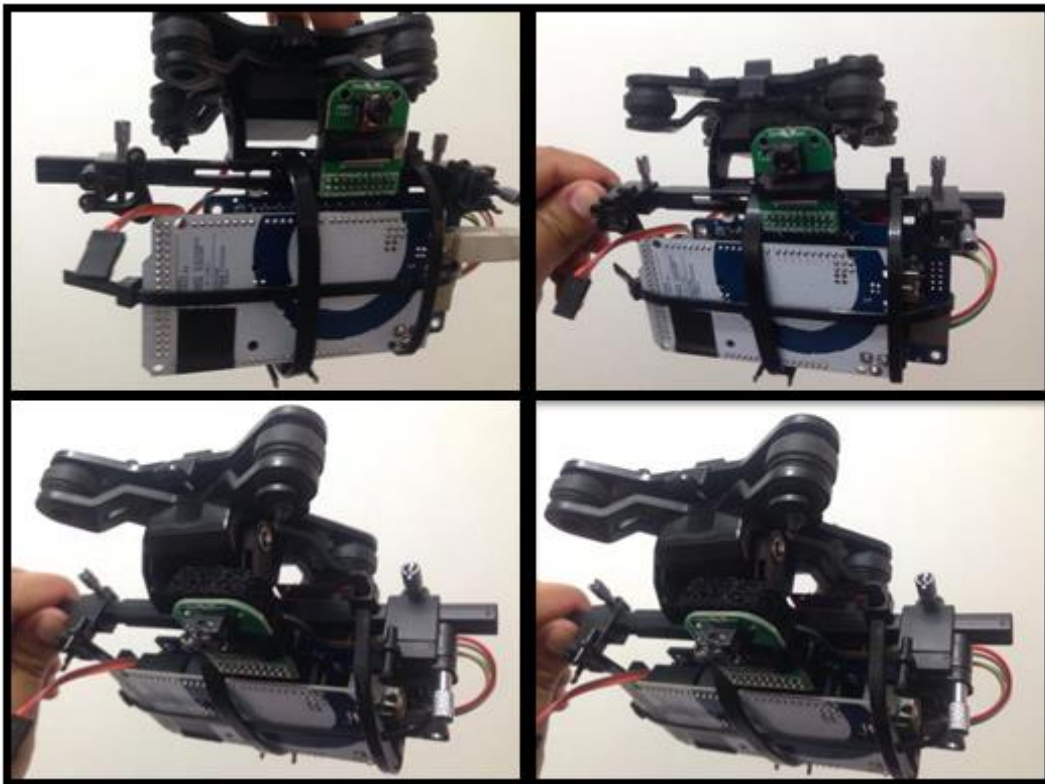


Figura 54. Movimiento del eje cardán visto desde la parte frontal

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Como se puede observar la Figura 54, corresponde a una secuencia de imágenes de movilidad del eje cardán una vez incluidos los elementos que comprenden el CC, en la secuencia

de imágenes se puede observar que los elementos externos que se han incluido al eje no intervienen en su movilidad la cual es de 0° a 90° en el eje y.

3.6.1.4 Sección 4.

Esta sección corresponde a la comprobación de los controles de vuelo del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO, para realizar su correcto ensamblaje, manipulación y uso revisar los Anexos 3, 4 y 5. La finalidad de la prueba consiste en realizar la prueba de vuelo previo a la inclusión de los componentes eléctricos que conforman el CC.



Figura 55. Conexión de la batería Li-Po del vehículo aéreo no tripulado para realizar el vuelo de prueba

Fuente: Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

En la Figura 55 se muestran la conexión de la batería Li-Po con el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO, se puede observar que el drone se encuentra listo para iniciar las pruebas de vuelo, por esta razón se encuentra equipado con los protectores de hélices para mayor seguridad del equipo.



Figura 56. Comprobación de los motores y requisitos previos a la realización del vuelo del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

Fuente: Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

En la Figura 56 se puede observar que el piloto encargado se encuentra comprobando que los mandos del control remoto se encuentren dispuestos de manera correcta, esto hace referencia al número de GPS que detecte al momento del vuelo, que los parámetros de altitud y posición del drone están leyéndose correctamente además de comprobar que la calibración del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO se haya realizado correctamente.

En la Tabla 19 que se presenta a continuación se detalla las condiciones en las cuales se realizó la prueba de vuelo del vehículo aéreo no tripulado.

Tabla 19. Condiciones presentes en el momento de realizar la prueba de vuelo del vehículo aéreo no tripulado

Condiciones de vuelo	
Fecha	10 de abril del 2017
Horario	10:00 am -11:00 am
Lugar	Espacio verde de la Cdla. Vitelma Dávila
Condición climática	Despejado sin presencia de lluvia
Presencia de ventiscas	NO
Velocidad del viento	Mínima
Número de GPS detectados al momento de la prueba	11

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 57 se puede observar que el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO, se encuentra en la etapa de vuelo, motivo por el cual se procede a comprobar los principales controles de mando durante el vuelo, en la siguiente figura se encuentra evidenciado el control UP-DOWN, donde el vehículo aéreo no tripulado, una vez que se haya encendido se levanta en vuelo por medio de este mando de control, los detalles del manual de vuelo se encuentran detallados en el Anexo 4.



Figura 57. Control del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO “UP-DOWN”

Fuente: Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

En la Figura 58 en cambio se puede observar el control DELANTE-ATRÁS del vehículo aéreo no tripulado, donde se toma como punto de referencia la posición del piloto y la del vehículo aéreo no tripulado, siendo la parte frontal del vehículo aéreo no tripulado la que se encuentra marcada por una etiqueta de color blanco para mayor detalle revisar el Anexo 4, una vez que se haya encendido y se levante en vuelo por medio de este mando de control se puede controlar la dirección en la que se quiere que vuele el vehículo aéreo no tripulado.



Figura 58. Control del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO “DELANTE-ATRÁS”

Fuente: Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

Esta prueba se realizó en buenas condiciones climáticas, sin presencia de chubascos, nubosidades o ventiscas que pudieran intervenir en el funcionamiento del vehículo aéreo no tripulado y en lugar con mucho espacio libre de obstáculos como lo es el espacio verde de la Cdla. Vitelma Dávila ubicada en la ciudad de Otavalo.

La prueba de vuelo se desarrolló sin percances, los mandos de vuelo se encontraban calibrados de manera correcta y la cantidad de GPS que fueron detectados por el control remoto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO en el lugar de prueba fueron 11 permitiendo tener una mayor estabilidad y control al momento del vuelo.

3.6.1.5 Sección 5.

En esta sección se procedió a realizar las pruebas finales de funcionamiento del sistema. El vehículo aéreo no tripulado se encuentra equipado con el eje cardán y los componentes del CC además mediante el IU se realizará la transmisión de las imágenes al ordenador.

Las condiciones en las cuales se realizaron estas pruebas se detallan en la Tabla 19.



Figura 59. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC y listo para realizar la prueba de vuelo

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 59 se puede observar que los motores del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO se encuentran encendidos además se encuentra equipado con el eje cardán en el cual se encuentra el CC, el que es el encargado de la captura y transmisión de los fotogramas.

Esta sección permite determinar si el sistema se encuentra listo para continuar con la siguiente etapa que consiste en la implementación del sistema con los equipos de transmisión con los que cuenta el canal universitario.



Figura 60. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC durante el vuelo

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 60 se puede observar que el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO se encuentra equipado con el CC y en período de vuelo, además se puede establecer mediante esta prueba que el tiempo de vuelo es de aproximadamente 10 minutos. Para llegar a esta fase de prueba se realizaron las pruebas preliminares establecidas en las secciones anteriores.

La comunicación inalámbrica y la transmisión de los fotogramas entre el CC ubicado en el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO y el IU se realizaron con éxito tal como se muestra en la Figura 61, permitiendo determinar que el sistema de captura de imágenes se encuentra en buenas condiciones para proceder a la implementación con los equipos microondas que posee el canal universitario perteneciente a la Universidad Técnica del Norte.



Figura 61. Fotograma capturado y transmitido desde el CC al IU mediante comunicación inalámbrica

Fuente: Módulo cámara OV2640

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se documenta la socialización que se realiza entre el sistema y los usuarios, describiendo el proceso que debe seguir el sistema con el propósito que cumpla con su objetivo final, además se describe como se deben preparar los usuarios para el correcto funcionamiento del mismo.

4.1 Procesos y Funcionamiento.

Tomando en cuenta el desarrollo del sistema se ha visto en la necesidad de la elaboración de tres etapas para el funcionamiento del sistema las cuales están concebidas por un conjunto de protocolos debido a que el uso correcto del sistema está regido por un proceso de pasos que el operario se encuentra reglamentado a realizar. Para estas etapas se toma en referencia como condiciones de uso del sistema entre las cuales están pre-condiciones, vuelo y post-condiciones.

4.1.1 Protocolo de pre-condiciones de uso.

4.1.1.1 Condiciones externas.

- Situación climática

El operador debe ser el encargado de la revisión de la velocidad del viento, esto puede realizarse mediante la utilización de una aplicación online además de cerciorarse de la ausencia de chubascos o nubosidades.

- Situación geográfica

El piloto debe realizar un reconocimiento del área geográfica previo al inicio del vuelo estableciendo una ruta libre de obstáculos.

- Evento

Se hace referencia a eventos sociales a los propósitos para los cuales se desea realizar la captura como puede ser un desfile, inauguración en otros términos cualquier evento que este designado al canal universitario siempre que no infrinja las normas establecidas por la DGAC.

4.1.1.2 Protocolo “Piloto- Operador”.

- No haber ingerido ninguna sustancia estupefaciente que interfiera en el comportamiento normal del operario debido a que el vehículo aéreo no tripulado no se trata de un juguete.
- Colocar el collar de seguridad en el cuello del operario, posteriormente asegurar el control remoto del drone Hubsan X4 PRO a este, tomar en cuenta que debe cumplirse con los parámetros establecidos dentro del Anexo 3.
- Encender el control remoto del drone Hubsan X4 PRO, esto tomara unos cuantos segundos hasta que se realice la comunicación.
- Realizar la calibración del vehículo aéreo no tripulado como se detalla dentro del Anexo 4 sección 7, mientras el piloto realiza la calibración del drone, el operador por un leve momento se encontrará a cargo del control remoto para verificar visualmente que en la pantalla lcd se emitan los mensajes de confirmación de calibración que son “Compass 1 y Compass 2”.
- Encender el CC “Centro de Captura” el cual se encuentra incrustado en el eje cardán.
- En la estación móvil el operador contará con una PC en la cual esta previamente instalado el software de captura de imágenes, el que se ejecutará para un escaneo y conexión entre el drone Hubsan X4 PRO y la estación. En la Figura 62 se observa los componentes del software.

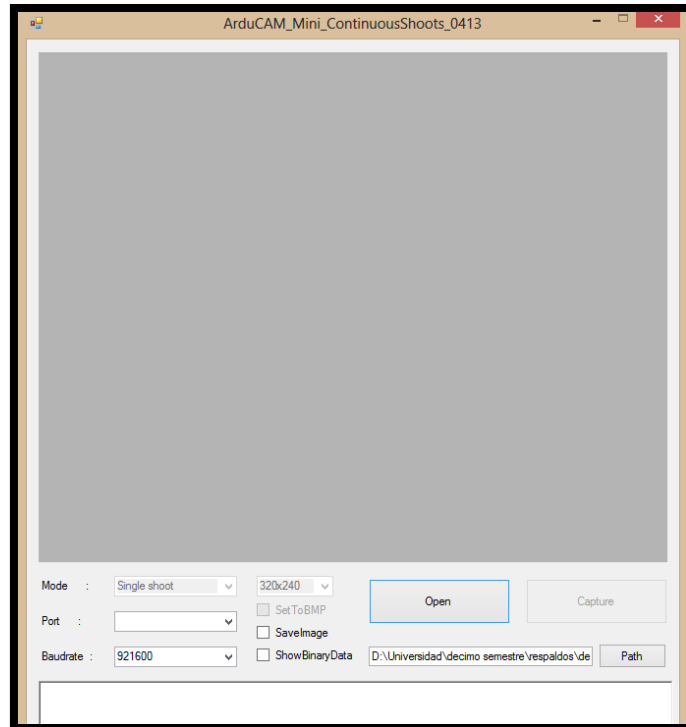


Figura 62. Software de captura de imágenes

Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

El software está dividido en dos secciones, la sección superior muestra visualmente el mapeado de bits del fotograma y en la sección inferior se encuentran las opciones de selección de puerto, velocidad de transmisión, almacenamiento de imágenes y la apertura del puerto de conexión.

4.1.2 Protocolo de vuelo.

- El piloto debe estar ubicado a una distancia moderada del drone Hubsan X4 PRO.
- Verificación del movimiento del eje cardán mediante la perilla del control remoto.
- Debe realizar el encendido de los motores como se detalla en el Anexo 4.
- El piloto debe estar consciente del área donde se encuentra y mantener la estabilidad y altitud por posibles corrientes de viento que puedan desestabilizar al drone.

- No hacer movimientos bruscos o giros innecesarios que puedan desencadenar en un accidente.
- Tomar en cuenta la cantidad de voltaje de la batería del dron que se muestra en la pantalla del control de mando además tomar en cuenta que el tiempo aproximado de vuelo del dron es de aproximadamente minutos, tiempo comprobado durante las pruebas de funcionamiento.

4.1.3 Protocolo de post-condiciones.

- Almacenamiento de los fotogramas obtenidos dentro de una carpeta.
- El ordenador debe estar conectado a un conversor análogo el cual pertenece al canal universitario para su conexión con la unidad móvil.
- Los equipos pertenecientes a la unidad móvil deben encontrarse instalados y listos para comenzar con la transmisión microondas.

4.2 Descripción de los actores.

Para el desarrollo y la ejecución del sistema se requirió de la presencia de tres actores importantes en el sistema sin las cuales el sistema no se puede desarrollar o ejecutar. Los actores que se requieren se mencionan a continuación:

4.2.1 Piloto.

Es la persona responsable del vuelo del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO en el cual se encuentra instalado el primer bloque de funcionamiento del sistema denominado CC, el mismo que es el responsable de la captura y envío de los fotogramas.

El piloto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO es el Sr. Christian Andrés Enríquez Champutiz, el cual se encuentra actualmente trabajando en el departamento de

comunicación de la Universidad Técnica del Norte, desempeñando el cargo de Operador Máster, Camarógrafo y editor en el canal universitario.

En la Figura 63 se puede observar al piloto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO, el cual se encuentra listo para la fase vuelo una vez que concluyo con los protocolos de seguridad.



Figura 63. Piloto del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO

Fuente: Elaborado por Ana Morales

4.2.2 Operador.

El sistema requiere de dos personas que lo operen una por cada bloque que lo conforma, la persona encargada de manejar el IU es el operador, el cual está a cargo del manejo del ordenador en el cual se procederá a recibir y almacenar los fotogramas.

El IU estará a cargo de la Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación Paola Elizabeth Tirira Caluqui, la cual se desempeña actualmente en el cargo de técnico de telecomunicaciones en el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

En la Figura 64 se puede observar al operador del sistema con la PC que conforma el IU la cual es la responsable de la recepción de los fotogramas transmitidos desde el CC, además se puede observar que la PC se encuentra conectada al conversor análogo-digital el cual a su vez va conectado a los equipos microondas.



Figura 64. Operador del sistema

Fuente: Elaborado por Ana Morales

4.2.3 Desarrollador.

El desarrollador es la persona encargada del desarrollo del sistema además de controlar y realizar correcciones al funcionamiento del sistema con la finalidad que cumpla con los objetivos establecidos en el Capítulo I.

4.3 Casos de uso.

Los casos de uso hacen referencia a las circunstancias de funcionalidad de los componentes que conforman el sistema y las posibles variantes que se pueden presentar durante su funcionamiento en relación con los usuarios o en el entorno en el cual se emplea el sistema.

4.3.1 Circunstancias limitantes de uso.

Dentro de los escenarios de uso se detalló que el sistema debe operar bajo determinados estados o condiciones que se tomaron en cuenta al momento de realizar el diseño. La siguiente tabla muestra a detalle las circunstancias de uso del sistema.

Tabla 20. Tabla de circunstancias limitantes de uso

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
	El radio de comunicación que existe entre el CC y el IU, para que se realice la transmisión de los fotogramas con éxito.
Distancia	Distancia máxima que puede volar el vehículo aéreo no tripulado tomando como referencia el lugar donde se encuentra el piloto. La distancia de vuelo debe ser respetada por las normas establecidas por DGAC.
Comunicación	La vinculación del módulo de comunicación inalámbrica Bluetooth RN-41 ubicado en el IU con CC debe realizarse momentos antes de iniciar la etapa de vuelo.

Fuente de energía	El tiempo de captura de los fotogramas es dependiente de la batería Li-Po del vehículo aéreo no tripulado la cual tiene una duración de aproximadamente 10 minutos.
--------------------------	---

Clima	El sistema debe operar en condiciones climáticas no adversas debido a que sus componentes se encuentran expuestos.
--------------	--

Fuente: Elaborado por Ana Morales

4.4 Conexión equipos de transmisión microondas.

Los equipos que se requieren para realizar la transmisión microondas se encuentran detallados dentro de los apéndices del Capítulo III, en este apartado se documentara la conexión que se realiza para permitir la transmisión de los fotogramas obtenidos del “Sistema de Captura de Imágenes”.

A continuación, se detallará las conexiones de los equipos previo a la transmisión de los fotogramas.

Se inicia con la distribución correcta de los equipos en un espacio de trabajo en donde puedan ser manipulados y ubicados con libertad por el resto del personal del canal universitario tal como se observa en la Figura 65.



Figura 65. Equipos pertenecientes al canal universitario para realizar la transmisión microondas

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

4.4.1 Conexión switch de video y monitores.

Se procede a realizar las conexiones de los equipos tanto con los cables de fuente como con los cables de datos. Se procede a conectar el switch de video a la entrada A de los monitores, esto permitirá observar las imágenes que estén siendo transmitidas al switch, en la Figura 66 se observa la conexión entre ambos equipos.



Figura 66. Conexión entre el switch de video y el monitor A

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

4.4.2 Conexión frame para tarjetas análogas.

Se procede a conectar la entrada del frame para tarjetas análogas con el switch de video (cable de color negro) y una de las salidas del frame hacia la caja exterior que se conecta con la antena transmisora (cable de color verde), tal como se observa en la Figura 67.

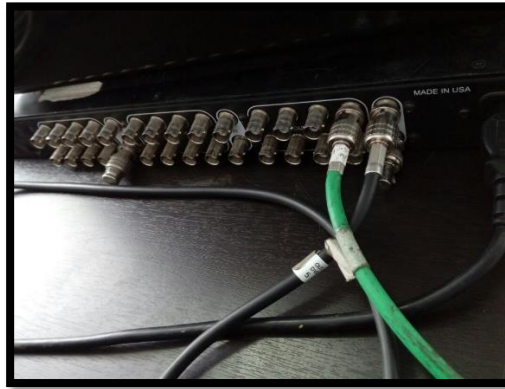


Figura 67. Conexión del frame de tarjetas análogas al switch de video y la caja exterior

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

4.4.3 Conexión conversor análogo digital.

El conversor análogo digital es conectado a la PC que forma parte del IU, debido a que será la encargada de la recepción de los fotogramas desde el CC. El conversor se puede observar a continuación en la Figura 68.



Figura 68. Conversor análogo

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

La entrada VGA y USB del convertor análogo se conectan a la PC que forma parte del IU y se conecta a su vez al switch de video para realizar la transmisión de los fotogramas al monitor A, como se puede observar en la Figura 69.

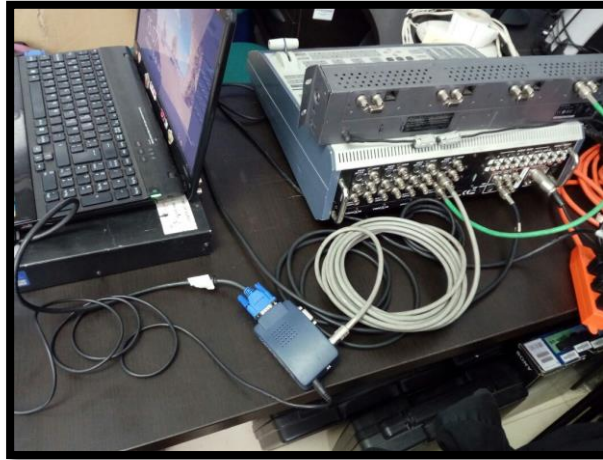


Figura 69. Conexión de los equipos requeridos para realizar la transmisión de los fotogramas vía microondas

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

Si la conexión se realizó con éxito se podrá visualizar en el monitor A ubicado sobre el switch de video la transmisión de la imagen que se encuentra actualmente en la PC, tal como se observa en la Figura 70.



Figura 70. Transmisión de la imagen de la PC al monitor ubicado en el switch de video

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

4.4.4 Conexión de la antena transmisora a la caja exterior.

La antena transmisora se conecta a la caja exterior al igual que el frame para tarjetas análogas, estos equipos son los encargados de transmitir las imágenes visualizadas en el monitor al servidor master vía microondas. En la Figura 71 que se muestra a continuación se pueden observar ambos componentes.



*Figura 71. Caja exterior y antena transmisora de la señal microondas
Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario*

La caja exterior se conecta a la red eléctrica para cumplir con las funciones de transmisión de imágenes, en la Figura 72 que se muestra a continuación se puede observar la conexión que se realiza.



*Figura 72. Conexión de la caja externa a la red eléctrica
Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario*

Como se mencionó anteriormente una salida proveniente del frame de tarjetas análogas (cable de color verde) se encuentra conectado a la caja externa además de la antena transmisora (cable de color negro), en la Figura 73 se puede observar la parte interna de la caja externa con sus debidas conexiones las cuales le permitirán realizar la transmisión de los fotogramas.



Figura 73. Caja externa con sus debidas conexiones a una fuente de alimentación, al frame de tarjetas análogas y ala antena transmisora

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

4.5 Ubicación de las antenas de trasmisión microondas.

4.5.1 Antena transmisora

Para que se pueda realizar la transmisión de las imágenes al servidor master las antenas deben tener línea de vista o estar alineadas para que la información en este caso fotogramas puedan transferirse sin interferencias.

En la Figura 74 se puede observar cómo se procede a manipular la antena transmisora apuntando en dirección a la antena receptora.



Figura 74. Movimiento de la antena transmisora en dirección a la antena receptora

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

Con la antena transmisora en esta posición se procedió a comprobar en el servidor master si las imágenes se transferían sin interferencias. Los resultados se pueden observar en la Figura 75.



Figura 75. Visualización de la imagen transmitida desde la PC perteneciente al IU al servidor master

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

Como se puede observar en la Figura 75 la transmisión de la imagen presenta muchas interferencias, por más intentos de cambiar la dirección en la que apuntaba la antena receptora la calidad de la imagen transmitida no mejoro, motivo por el cual se procedió a cambiar el sentido

en que apuntaba la antena receptora del enlace microondas ubicada en la terraza del edificio central de la casona universitaria.

4.5.2 Antena Receptora

La antena receptora que se encuentra ubicada en la terraza del edificio central de la casona universitaria, se encontraba apuntando en dirección oeste, como se puede observar en la Figura 76.



Figura 76. Ubicación inicial de la antena receptora del enlace microondas en dirección oeste

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

Se procedió a mover la antena receptora en dirección noreste con la finalidad de que el enlace permita la transmisión de los fotogramas sin presentar un gran número de interferencias. En la Figura 77 se puede observar como la antena receptora quedó finalmente direccionada en dirección noreste.



Figura 77. Ubicación final de la antena receptora del enlace microondas en dirección noreste

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

Habiendo cambiando la dirección de la antena receptora se procedió a revisar una vez más la calidad de la imagen que se transmite por el enlace microondas. Como se puede evidenciar en la Figura 78 la transmisión de la imagen se realiza con una mejor calidad, ya no presenta tanta interferencia en comparación de como estaba antes. Las imágenes que poseen un mayor balance blancos presentaran una mayor interferencia esto debido a un daño que ha sufrido tiempo atrás el enlace microondas y que aún no ha sido resuelto.



Figura 78. Visualización de la imagen transmitida desde la PC al servidor master con el nuevo direccionamiento de la antena receptora

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

4.6 Implementación del sistema de captura de imágenes

Una vez finalizada la instalación y comprobación del enlace microondas se procedió a la implementación del sistema de captura de imágenes. Las condiciones en que se realizó esta prueba se detalla a continuación en la Tabla 21.

Tabla 21. Condiciones de vuelo del vehículo aéreo no tripulado Husban X4 PRO

Condiciones de vuelo	
Fecha	19 de abril del 2017
Horario	12:00 am -13:00 pm
Lugar	Universidad Técnica del Norte
Condición climática	Nublado sin presencia de chubascos
Presencia de ventiscas	NO
Velocidad del viento	Mínima
Número de GPS detectados al momento de la prueba	9-7

Fuente: Elaborado por Ana Morales

El vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO fue pilotado en la Universidad Técnica del Norte frente a las instalaciones del edificio central debido a que los equipos para el enlace microondas se encontraban ubicados en las instalaciones de este edificio porque requieren de una conexión continua a la red eléctrica ya que por motivos de fuerza mayor el vehículo en el cual se movilizaban lo equipos ya no se encuentra en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte.

Se procedió a realizar la implementación del sistema de captura de imágenes con la ayuda del piloto y operador los cuales pertenecen al canal universitario. A continuación, se muestra en las siguientes imágenes a los diferentes actores cumpliendo con su tarea designada.



Figura 79. Piloto del vehículo aéreo no tripulado durante el tiempo de vuelo

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 79 se puede observar al vehículo aéreo no tripulado en su fase de vuelo en los exteriores del edificio central de la Universidad Técnica del Norte, cabe recalcar que la vinculación entre el CC y el IU se realizó momentos antes del despegue. El piloto se encuentra volando el dron dentro de una zona que se encontraba libre de peatones.

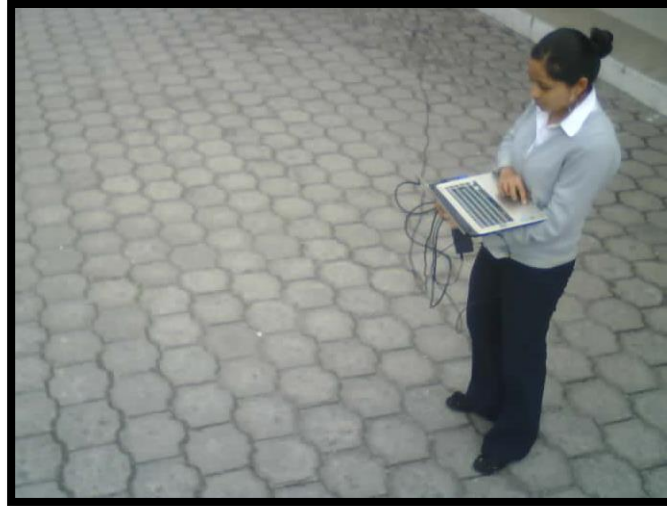


Figura 80. Operador del IU durante la etapa de implementación del sistema

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 80 se puede observar los instantes en los que el operador del sistema se encuentra capturando y recibiendo los fotogramas realizados por el CC que se encuentra ubicado en el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO que se encuentra durante la fase de vuelo en esos instantes.



Figura 81. Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC durante el vuelo

Fuente: Elaborado por Ana Morales

Como se puede observar en la Figura 81 el sistema se encuentra en funcionamiento, por lo tanto, se procede a realizar la captura de imágenes mediante el CC que se encuentra ubicado en el

vehículo aéreo no tripulado, siendo el software ubicado en la PC el encargado de la recepción y almacenamiento de las imágenes como se puede observar en la Figura 82.



Figura 82. Fotograma recibido en el software de recepción de imágenes

Fuente: Elaborado por Ana Morales

En la Figura 83 se puede observar algunas de las imágenes capturas por el sistema y transmitidas al IU por medio de la comunicación inalámbrica entre el CC y el IU y almacenadas en la PC por el software de recepción.



Figura 83. Imágenes captadas por el sistema de captura de imágenes

Fuente: Elaborado por Ana Morales

La PC utilizada por el operador se encuentra conectada a los equipos que permiten la transmisión de las imágenes por medio del enlace microondas, por ese motivo las imágenes que se reciben y almacenan en la PC van a ser visualizadas en los monitores ubicados en el switch de video que se encuentra en las instalaciones del edificio central y de manera inmediata son transmitidos al servidor master. Se puede apreciar con mayor claridad en las siguientes Figuras.



Figura 84. Fotograma enviado desde el IU hasta los monitores ubicados en las instalaciones del edificio central

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

En la Figura 84 se observa el fotograma que se capturo con el sistema de captura de imágenes en los exteriores del edificio central siendo transmitido a los monitores que se encuentran conectados al switch y resto de equipos ubicados en las instalaciones del edificio central.



Figura 85. Imagen capturada por el sistema de captura de imágenes y recibida en el servidor master

Fuente: Equipos del enlace microondas propiedad del canal universitario

En la Figura 85 se observa de la misma manera el fotograma que fue capturado en los exteriores del edificio central con el sistema de captura de imágenes esta vez siendo transmitido a las oficinas de comunicación donde se encuentra el servidor master el cual es el destino final del fotograma donde el personal que corresponde a esta área le dará el uso correspondiente a la imagen para la creación de nuevo contenido para el canal universitario.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se pudo concluir que en la actualidad se exhiben en el mercado una gran variedad de vehículos aéreos no tripulados, que se encuentran diseñados para cumplir con determinadas aplicaciones entre ellas se encuentran vehículos aéreos no tripulados diseñados para entrenamiento, iniciación, aplicaciones militares o aplicaciones civiles, además de caracterizarse debido a sus diseños de arquitectura lo que les permite tener un amplio campo de aplicación.

Se concluyó que al tratarse de un sistema de captura de imágenes los módulos que tengan relación directa con la cámara deben contar con características técnicas que incluyan mayor capacidad de procesamiento, memoria de programa (flash) y memoria de datos (SRAM) para el almacenamiento temporal de la imagen antes de su transmisión.

Durante el diseño del sistema de transmisión inalámbrica se concluyó que la ubicación del módulo receptor y transmisor es un factor muy importante a tomar en cuenta, porque al tratarse de una red punto a punto (P2P) se establece un área de cobertura en la cual es posible realizar la transmisión de los datos, además se pudo evidenciar que las especificaciones técnicas establecidas en las hojas de datos de los módulos varían drásticamente en lo que corresponde a distancia.

Se logró concluir que cuando se emplea vehículos aéreos no tripulados en un sistema, los elementos externos deben cumplir con determinadas características técnicas y de diseño, como lo es el peso, dimensiones y consumo de energía, porque estos factores afectan de manera directa en el tiempo de vuelo del dron, además deben estar bien asegurados porque podría sufrir una caída abrupta que como consecuencia tendrá el daño del elemento.

Durante el desarrollo del proyecto se pudo concluir que el manejo del vehículo aéreo no tripulado se facilita para personas que tienen destreza en el manejo de joystick debido a que es similar al control del vehículo aéreo no tripulado.

Durante la transmisión de los fotogramas por medio del enlace microondas se debe realizar pruebas preliminares para determinar que la antena de transmisión y recepción están alineadas de manera correcta, debido a que si no fuese ese el caso se presentaría demasiada interferencia al momento de la recepción de las imágenes.

Al momento de la implementación del sistema de captura de imágenes con los equipos del enlace microondas se observó que las imágenes que son recibidas por la PC en el IU se visualizan de manera simultánea en los monitores que se encuentran conectados al switch de video y el servidor master.

Al estar los fotogramas capturados en el formato de 800x600 el canal universitario puede hacer uso de estas imágenes cumpliendo con los parámetros técnicos que requiere el canal para su utilización en el desarrollo de contenido informativo que ellos crean pertinente.

5.2 Recomendaciones

Es recomendable revisar las hojas de datos (datasheet) de cada componente electrónico que se va a incluir en el sistema, con la finalidad de conocer sus características técnicas más relevantes, las mismas que son consideradas en el diseño por su conexión con otros componentes, además de evitar posibles daños por mala manipulación.

Cuando se trata de un sistema compuesto por distintos componentes electrónicos es recomendable realizar las pruebas de funcionamiento por etapas, es decir de cada elemento por separado, de esta manera se puede determinar que sección del sistema no está funcionando de acuerdo a lo estimado.

Si se desea empezar a manipular un vehículo aéreo no tripulado se recomienda iniciar con drones de corta dimensión o del tipo entrenamiento debido a que estos no son de gran coste económico y son ideales debido a que los controles remotos de estos no son tan complejos y son fáciles de manejar en especial para personas que no tienen mucha experiencia con el manejo de joystick.

En primera instancia cuando se adquiere un vehículo aéreo no tripulado independientemente de sus características físicas lo recomendable es leer detenidamente las instrucciones en cuanto sus componentes, forma correcta de cargar la batería y tiempo estimado de carga debido que al tratarse de baterías tipo Li-Po si se excede el tiempo de carga la batería tiende a hincharse y en caso extremo esta podría explotar.

Al momento de probar los controles de vuelo del vehículo aéreo no tripulado se recomienda retirar las hélices e iniciar la manipulación de los controles probando inicialmente los motores y

una vez que se cerciore que los mandos de vuelo están correctamente configurados puede proceder a realizar la prueba de vuelo con las hélices puestas.

Cuando se manipula por primera vez un vehículo aéreo no tripulado, las pruebas de vuelo que se realice por primera vez se recomienda realizarlos en un lugar abierto con mucho espacio y en lo posible alejado de las personas, esto como una manera de precautelar la seguridad e integridad de los peatones.

Es recomendable realizar el aterrizaje del vehículo aéreo no tripulado con ayuda de una tercera persona, porque es más seguro que una persona lo sostenga levemente en el aire y el piloto proceda a apagar los motores, de esta manera se evita que en el momento del aterrizaje pueda suscitarse algún problema.

En lo que concierne a la ubicación de los equipos que conforman el enlace microondas terrestre se recomienda realizarlo con anticipación, de esta manera se puede corregir cualquier inconveniente que se presente al momento del montaje y conexión de los equipos.

Al momento de realizar el enlace microondas se recomienda analizar previamente el espacio donde se va a realizar la transmisión, porque se pueden presentar problemas con la línea de vista entre la antena receptora y transmisora de la señal, dando como resultado la transmisión de imágenes con mucha interferencia.

Se recomienda hacer la adquisición de un vehículo aéreo no tripulado con mayor capacidad de carga, para poder realizar la inclusión de una carcasa protectora para los componentes electrónicos que conforman el CC.

BIBLIOGRAFÍA

- Ramos Álvarez, M. (2012). *Principios de Electrónica*. México: Red Tercer Milenio
- Huidrobo, J. M. (2011). *Telecomunicaciones-Tecnologías, redes y servicios*. Madrid, España: Ra-ma
- Fourouzan, B. (2002). *Transmisión de Datos y redes de comunicación*. Madrid: McGraw-Hill
- Aranda, D. (2014). *Electrónica- Plataformas Arduino y Raspberry PI*. Buenos Aires: Fox Andina.
- Aristizabal Gómez, A. (11 de noviembre del 2010). *Electrónica Actual*
- Boxall, J. (2013). *Arduino Workshop A Hands-On Introduction*.
- Floyd, T. (2008). *Dispositivos electrónicos*. México: PEARSON EDUCACIÓN
- Ordoñez, J. L. & Huidrobo, J. M. (2013). *Comunicaciones por radio- tecnologías, redes y servicios de radiocomunicación*. Madrid, España: Ra-ma
- Saura, R. & González A. (2015). *Aplicaciones al periodismo, Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid, España: Gráficas Arias Montano S.A
- Soto, D. (2012). *Interacción hombre-robot con vehículos aéreos no tripulados basada en visión* (Tesis de Maestría). Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México.
- Chicaiza, F. & Chuchico C. (2015). *Implementación de un sistema de piloto automático basado en una plataforma FPGA para la navegación autónoma del vehículo aéreo no tripulado*

de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga (Tesis de Grado).
Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.

Sur Advantage Company Inc. (1996-2016). *Switch De Video Datavideo Se 800*.
Recuperado de <https://www.southernadvantage.com/DataVideo-SE-800-DV-Digital-Video-Switcher.html>

Sony Corporation. (2004-2016). *Monitores de producción LCD*. Recuperado de
<http://www.sony.es/pro/product/broadcast-products-professional-monitors-lcd-production/lmd-4420/features/#features>

Microchip Technology Inc. (1998-2016). *Embedded Wi-Fi*. Recuperado de
<http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/human-interface/rn-software/wifly>

Drone Spain. (2014-2017). *Tipos de drones aéreos*. Recuperado de
<http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>

Arducam. (2015). *Camera Modules*. Recuperado de <http://www.arducam.com/>

HADA. (2016). *Hada Electronics*. Recuperado de
<http://www.hadaelectronics.com/Tutoriales/?tutorial=4>

Arduino. (30 de noviembre de 2015). *Arduino.cc*. Recuperado de <http://www.arduino.com>

Aprenderaprogramar. (2016). *Aprenderaprogramar.com*. Recuperado de
<http://aprenderaprogramar.com/>

Martínez, S. (23 de marzo 2014). *es.slideshare.net*. Recuperado de
<http://es.slideshare.net/witwicky/tipos-de-arduino-y-sus-caracteristicas>

Kits-Electrónica. (2016). *Kits de electrónica y circuitos*. Recuperado de <http://www.kitelectronica.com>

PROMETEC. (2016). *PROMETEC*. Recuperado de <http://www.prometec.net>

Robo-Help. (2005). *Automatización y Electrónica*. Recuperado de http://robohelpnews.blogspot.com/2015_07_01_archive.html

Melgoza, J. (2013). *Jonathanmelgoza*. Recuperado de <http://jonathanmelgoza.com/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

UAV: Unmanned Aerial Vehicle, Vehículo Aéreo no Tripulado, o comúnmente dron es una aeronave que vuela sin tripulación.

ESCs: Electronic Speed Control, Control Electrónico de Velocidad, consiste en un circuito electrónico.

GPS: Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global, sistema de navegación basado en satélites y está integrado por 24 satélites puestos en órbita por el Departamento de defensa de los Estados Unidos.

DGAC: Dirección General de Aviación Civil, autoridad de aviación civil de Ecuador.

FAA: Federal Aviation Administration, Administración Federal de Aviación, autoridad nacional con poderes para regular todos los aspectos de la aviación civil en Estados Unidos.

NTSC: National Television System Committee, Comité del Sistema Nacional de Televisión, sistema de televisión analógico que se emplea en América del Norte, América Central, la mayor parte de América del Sur y Japón entre otros.

PAL: Phase Alternating Line, Línea Alterna de Fase, sistema de televisión analógico que se emplea en Europa y algunos países de Sudamérica como Argentina, Uruguay y Brasil.

Salida SDI: Serial Digital Interface, Interfaz Digital Serial, interfaces de video digital estandarizada inicialmente por la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers, Sociedad de Ingenieros de Cine y Televisión).

P2P: Peer to Peer, De Igual a Igual, red entre iguales o red entre pares.

Banda ISM: Industrial, Scientific and Medical, Industrial, Científico y Médico, son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

IDE: Integrated Development Environment, Entorno de Desarrollo Integrado, aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software.

ISO: International Organization for Standardization, Organización Internacional de Normalización, organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de estandarización.

IEC: International Electrotechnical Commission, Comisión Electrotécnica Internacional, organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.

I2C: Inter-Integrated Circuit, Circuito Inter-Integrado, es un bus multi-maestro, multi-esclavo, con conmutación de paquetes, de un solo extremo, inventado por Philips Semiconductor.

PWM: Pulse Width Modulation, Modulación por Ancho de Pulso, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica.

USB: Universal Serial Bus. Puerto que permite conectar periféricos a una computadora.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, Transmisor-Receptor Asíncrono Universal.

FCC: Federal Communications Commission, Comisión Federal de Comunicaciones, organismo de control de productos tecnológicos.

CE: Indica que el producto cumple con todos los requisitos legales y técnicos en cuanto a seguridad para poder ser comercializado en los estados miembros de la Unión Europea.

IC: Es el número de aprobación del organismo de Canadá que regula las telecomunicaciones.

VGA: Video Graphics Array, Matriz Gráfica de video, estándar mínimo de presentación para los ordenadores personales.

JPG: Joint Photographic Experts Group, Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía, nombre de un comité de expertos que creó un estándar de compresión y codificación de archivos e imágenes fijas.

ANEXOS

ANEXO 1: Resolución N°251 de la Dirección General de Aviación Civil



DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL

RESOLUCIÓN No 251 / 2015

El Director General de Aviación Civil

Considerando:

Que, la Dirección General de Aviación Civil no dispone de una reglamentación que establezca requisitos para la Operación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) o conocidas como DRONES o Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS);

Que, con la finalidad de precautelar la seguridad operacional en las actividades aéreas, usuarios del transporte aéreo y público en general, debido al incremento significativo de operaciones con Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) o conocidas como DRONES o Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS), es necesario establecer disposiciones generales para la operación de las Aeronaves antes citadas;

Que, de acuerdo con el Art. 6, numeral 3, literal a) de la Ley de Aviación Civil, publicada en el Registro Oficial No. S-435 del 11 de enero del 2007, se determina las atribuciones y obligaciones del Director General de Aviación Civil: "Dictar, reformar, derogar regulaciones técnicas, órdenes, reglamentos internos y disposiciones complementarias de la Aviación Civil, de conformidad con la presente Ley, el Código Aeronáutico, el Convenio sobre Aviación Civil Internacional y las que sean necesarias para la seguridad de vuelo, y la protección de la seguridad del transporte aéreo"; y,

En uso de las atribuciones legales,

RESUELVE:

Artículo Primero.- Aprobar el establecimiento de disposiciones complementarias que normen la Operación de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) o conocidas como DRONES o Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS), las mismas que se detalla a continuación:

Art. 1 Operaciones en las cercanías de un aeródromo

Se prohíbe la operación de las RPAS/UAS en espacios aéreos controlados.

La operación de las RPAS/UAS se mantendrá durante toda la duración del vuelo, a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros (5 NM) de las proximidades de cualquier aeródromo o base aérea militar.



Art. 2 Altura máxima de vuelo

La operación de las RPAS/UAS no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (AGL).

Art. 3 Horas de operación

Las RPAS/UAS serán operadas solamente en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC), libre de nubes, neblina, precipitación o cualquier otra condición que obstruya o pueda obstruir el contacto visual permanente con la RPAS/UAS.

Art. 4 Responsabilidad por la operación

(a) La persona que opera los controles de las RPAS/UAS será responsable por la operación general de la misma durante todo el vuelo, en forma solidaria con el explotador o propietario de la aeronave.

Art. 5 Integridad fisiológica del operador de una RPA

Ninguna persona operará los controles de una RPAS/UAS si:

- (a) Se encuentra fatigado, o si considera que pudiera sufrir los efectos de la fatiga durante la operación;
- (b) Se encuentra bajo el efecto del consumo de bebidas alcohólicas, o de cualquier droga que pudiera afectar sus facultades para operar los controles de manera segura.

Art. 6 Funciones de automatización

Si las RPAS/UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control inmediato de la aeronave.


Art. 7 Limitaciones

La persona que opera los controles de una RPAS/UAS es responsable por asegurarse que la misma sea operada de acuerdo con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante.

Art. 8 Seguros

El propietario o explotador de las RPAS/UAS están en la obligación de responder por los daños causados a terceros, como resultado de sus actividades de vuelo, para lo cual debe contratar la póliza de seguros de responsabilidad civil legal a terceros en los montos mínimos establecidos en la tabla que consta a continuación:

De 02 a 25 Kg. de masa máxima de despegue (MTOW)	USD 3.000,00
De más de 25Kg. masa máxima de despegue (MTOW)	USD 5.000,00



Art. 9 Cumplimiento con las leyes y reglamentos locales

El cumplimiento de estas disposiciones, no exime al operador de las RPAS/UAS de cumplir con las leyes y reglamentos locales aplicables.


Art. 10 Consideración final

Cualquier aspecto no considerado en la presente resolución, será analizado y resuelto por la Autoridad Aeronáutica Civil.

Artículo Segundo.- La presente Resolución, sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial, entrará en vigencia a partir de su aprobación.

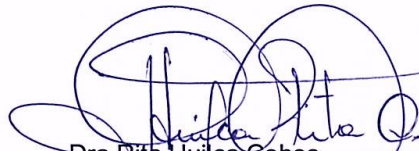
Artículo Tercero.- Encárguese a la Subdirección General de Aviación Civil la ejecución, control y aplicación de la presente Resolución.

Comuníquese y publíquese.- Dada en la Dirección General de Aviación Civil en Quito, Distrito Metropolitano, el 17 SET. 2015



Cmdte. Roberto Yerovi De la Calle
Director General de Aviación Civil



CERTIFICO que expidió y firmó la resolución que antecede el Cmdte. Roberto Yerovi De la Calle, Director General de Aviación Civil, en la ciudad de Quito, 17 SET. 2015



Dra Rita Hujica-Cobos
Directora de Secretaría General DGAC

Mgs. Byron Carrión
Sr. Fidel Guitarra
Ing. Edgar Gallo
2015-09-17

ANEXO 2: Formulario de la entrevista realizada a la Ing. Paola Tirira

Formulario de Entrevista			
Información General			
Entrevistador:	Ana Morales	Cargo:	Estudiante-CIERCOM
Entrevistado:	Ing. Paola Tirira	Cargo:	Técnica de Telecomunicaciones
Cuestionario			
1. ¿Qué función cumple el departamento de comunicación dentro de la casona universitaria?			
2. ¿Cómo se realiza la obtención de contenido grafico para el canal universitario?			
3. ¿En lo que concierne a imágenes que formato manejan?			
4. ¿Cómo se realizan las transmisiones de información?			
5. ¿Qué equipos son utilizados?			
6. ¿Cuentan con algún vehículo aéreo no tripulado propiedad de la Universidad Técnica del Norte?			
6.1.¿Cómo es la inclusión de este en el canal universitario?			
6.2.¿Quién es la persona a cargo del vuelo del vehículo aéreo no tripulado?			
7. ¿Cómo piensa usted que se podría mejorar la utilización del vehículo aéreo no tripulado dentro del canal universitario?			
Firmas de Responsabilidad			
			
Ana Morales Entrevistador		Ing. Paola Tirira Entrevistado	

ANEXO 3: Manual de ensamblaje del Drone Hubsan X4 PRO

A continuación, se detalla cómo se realiza el ensamblaje de los componentes del vehículo aéreo no tripulado a su frame.

1. Batería Li-Po “cargar batería”

Conecte la batería al cargador de equilibrio y al cargador de pared como se muestra en la Figura 86, las luces LED se volverán rojas mientras se realiza la carga y se vuelven de color verde cuando la carga está acabada, el tiempo estimado de carga es de 180 minutos aproximadamente.

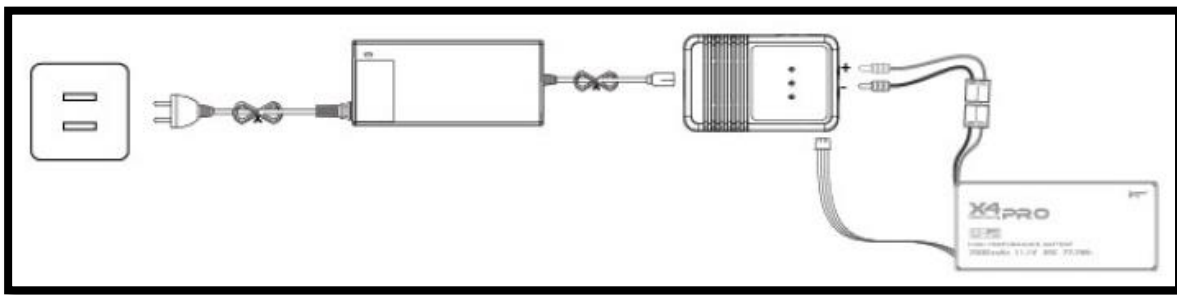


Figura 86. Manera correcta de cargar la batería Li-Po

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

2. Control remoto

El control remoto del vehículo aéreo no tripulado requiere del uso de 8 pilas AA las cuales se deben ubicar en la parte posterior del control una vez que se haya destornillado la tapa de seguridad tal como se muestra en la Figura 87.

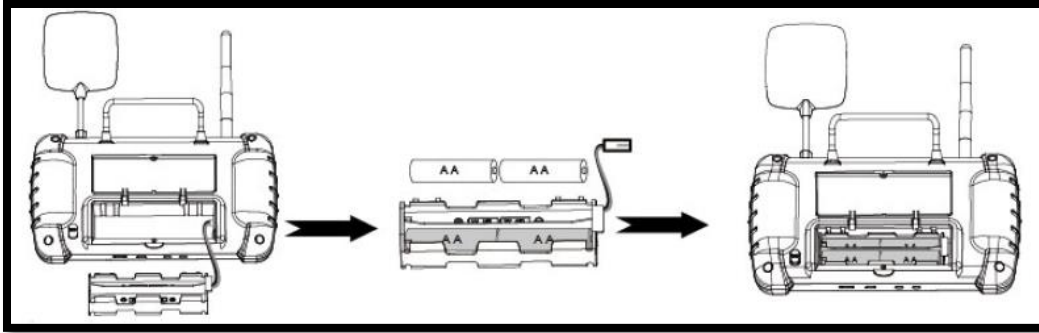


Figura 87. Ubicación de las pilas en el control remoto

Fuente: *The Hubsan X4 PRO*, 2015. <https://manuals.hobbico.com/hbn/x4-pro-manual.pdf>

3. Calibración de los controles de vuelo

Empujar el joystick izquierdo en la parte superior de la izquierda y el joystick derecho en la parte superior de la derecha, mantenerlos en esta posición y luego encender el control remoto, en la pantalla LCD se mostrará el siguiente mensaje "CALIBERATE STICK". Mover el joystick en un movimiento circular alrededor de 3 veces, y luego soltar el joystick y presionar cualquier botón para guardar y salir, como se observa en la Figura 88.

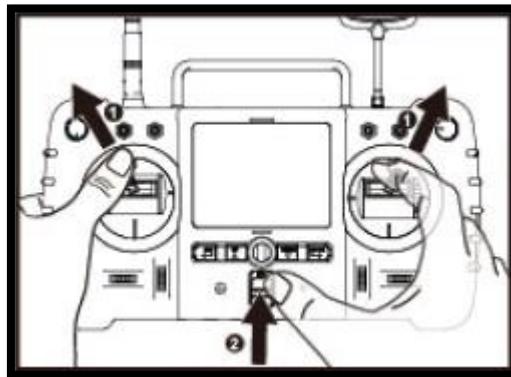


Figura 88. Calibración del control remoto del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (*The Hubsan X4 PRO*, 2015)

4. Colocar el eje cardán

Para instalar el eje cardán debe apuntar a la ranura inferior con la ranura del equipo de resistencia a los golpes y deslizar suavemente hasta el fondo como se muestra a continuación en la Figura.

5. Ajuste de las hélices

El vehículo aéreo no tripulado cuenta con 2 pares de hélices designadas como A y B las cuales se ubican de manera intercalada siguiendo la nomenclatura que se encuentra grabada en el frame, tal como se muestra en la Figura 89.

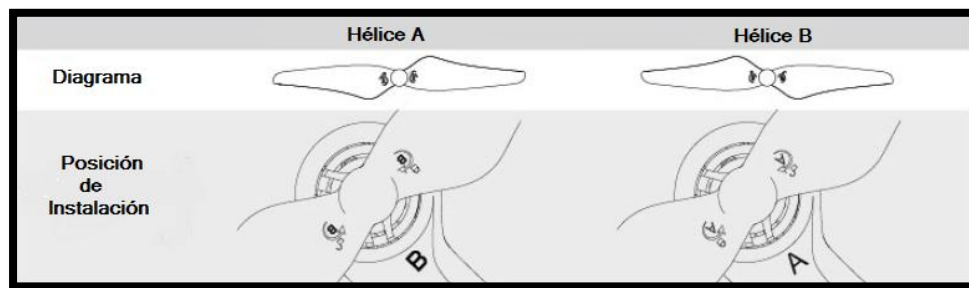


Figura 89. Hélices tipo A y B pertenecientes al drone Hubsan X4 PRO

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

Las hélices cuentan con una simbología grabada la cual sirve para asegurar o retirar las hélices lo único que debe hacer es girar las hélices en la dirección que indica la simbología tal como se observa en la Figura 90.



Explicación de los símbolos		Bloqueo: En esta dirección, apriete la hélice sobre el motor
		Desbloquear: En este sentido, extraer la hélice del eje del motor

Figura 90. Explicación de la simbología de las hélices

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

Por último, para asegurar las hélices sujete el motor con la llave de extracción de la hélice y gire las hélices en la dirección de bloqueo para asegurar la hélice, repetir el mismo proceso para retirar las hélices con diferencia que las hélices se deben girar en la dirección de desbloqueo como se puede observar en la Figura 91.

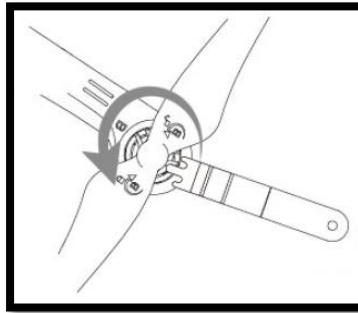


Figura 91. Utilización de la llave de extracción para bloquear o desbloquear las hélices

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

A continuación, se observa en la Figura 92 el sentido que las hélices deben seguir para ser bloqueadas.

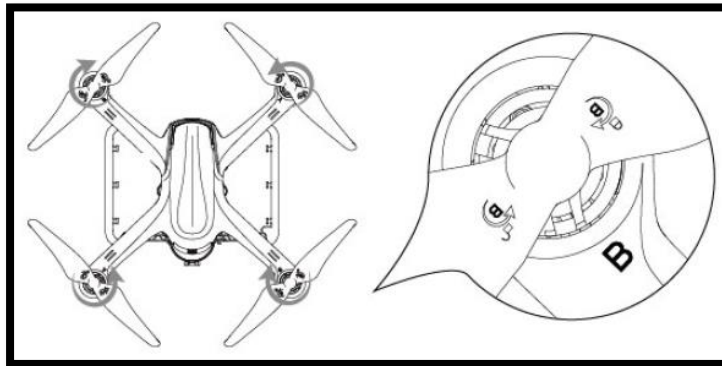


Figura 92. Sentido que las hélices deben seguir para ser bloqueadas.

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

6. Colocación de la batería

Al momento de colocar la batería Li-Po en el vehículo aéreo no tripulado debe insertarse en la cavidad con el sello de seguridad en dirección paralela a los cables de conexión de la misma.

7. Ubicación de los protectores de hélices

El uso de los protectores de las hélices Hubsan X4 se lo realiza a fin de aumentar la seguridad del vuelo. Para realizar su instalación debe apretar el tornillo de la hélice como se muestra a continuación en la Figura 93.

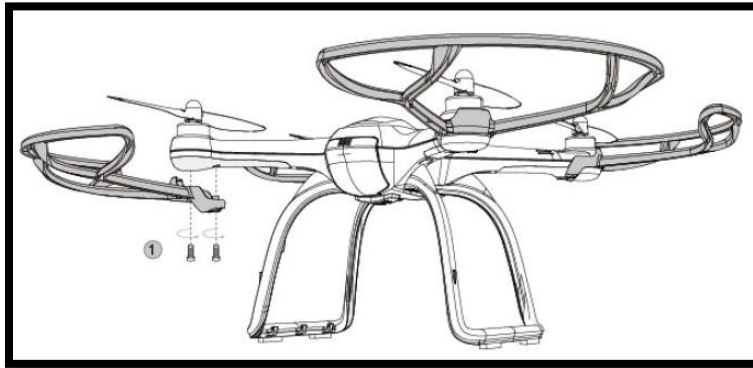


Figura 93. Instalación del protector de hélices Hubsan X4 PRO

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

ANEXO4: Manual de uso del Drone Hubsan X4 PRO

Para uso de este drone se detallará a continuación los pasos que se debe seguir para su correcta manipulación.

1. Utilización del collar de seguridad

El control remoto del equipo cuenta con un soporte para ubicar un collar de seguridad el cual debe colocarse el piloto del drone. De esta manera se puede evitar que cualquier movimiento erróneo ocasione estragos al momento del vuelo ya que es muy sensible en sus controles. En la Figura 94 se puede observar la correcta ubicación del collar de seguridad en el control remoto del drone Hubsan X4 PRO



Figura 94. Colocación del collar de seguridad al control remoto

Fuente: Elaborado por Ana Morales

2. Verificación de la batería del control remoto

Una vez que se haya encendido el control remoto revisar si cuenta con la cantidad de batería necesaria para su uso.

3. Verificación de los botones

Para que el piloto tenga control sobre el vehículo aéreo no tripulado los siguientes botones deben estar configurados de la siguiente manera: el botón del GPS debe estar en modo on, el botón return de home y los demás botones deben estar en modo off.

4. Encendido del vehículo aéreo no tripulado.

La conexión de los cables se debe realizar de acuerdo a la polaridad que se indica en la Figura 95. Si la batería se colocó de manera correcta el compartimiento de la batería debe cerrarse sin ningún inconveniente.

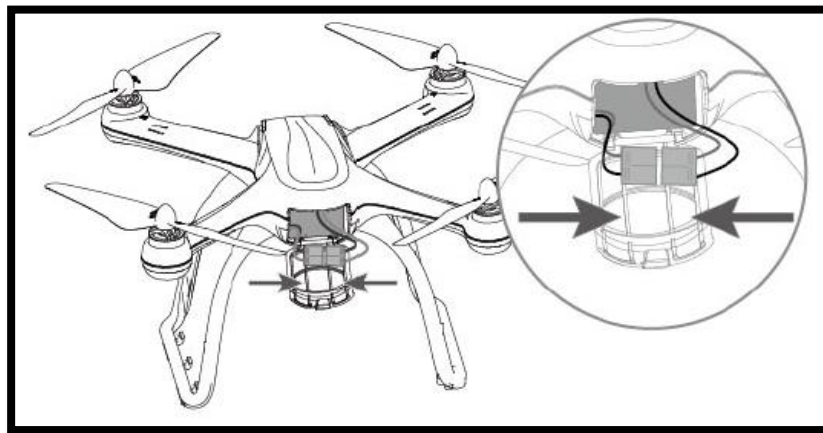


Figura 95. Compartimiento de la batería Li-Po y la correcta polarización de conexión

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

5. Verificación de la batería del vehículo aéreo no tripulado.

Cuando se haya conectado la batería del vehículo aéreo no tripulado automáticamente se visualizará en la esquina superior derecha de la pantalla del control remoto el nivel de carga que

tiene la batería Li-Po, tal como se observa en la Figura 96. Este valor es de vital importancia ya que se debe detener el vuelo cuando el nivel de batería baje a 8.4 voltios.

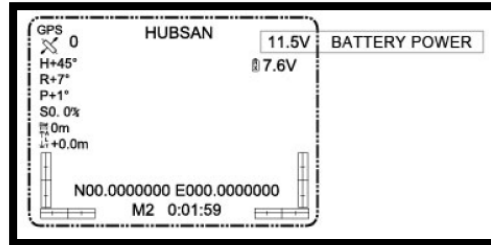


Figura 96. Visualización del estado de la batería Li-Po del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

6. Lectura del sensor

El vehículo aéreo no tripulado necesita estar en contacto con una superficie sólida una vez que haya sido encendido debido a que cuenta con un sensor ubicado en la parte inferior del tren de aterrizaje como se observa en la Figura 97, la cual envía un mensaje a la pantalla del control remoto cuando ha sido activado permitiéndole al piloto proceder con la calibración de vuelo.

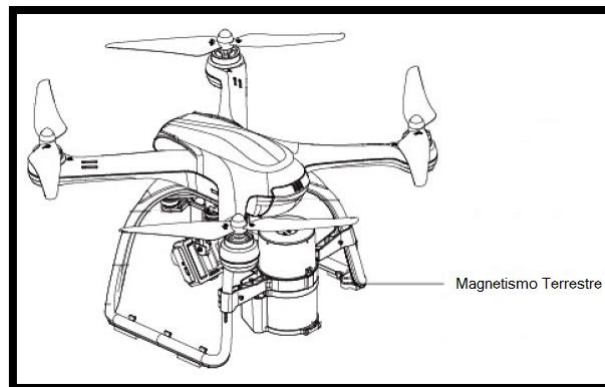


Figura 97. Sensor de magnetismo terrestre del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

7. Calibración de vuelo

La calibración debe realizarse cada vez que se conecte la batería del vehículo aéreo no tripulado. Una vez que el sensor emite la orden de calibración las luces led del vehículo aéreo no

tripulado se tornan de color rojo con blanco en sentido intercalado como se puede apreciar en la Figura 98.



*Figura 98. Lectura del sensor “Magnetismo Terrestre”
Fuente: Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO*

La calibración se realiza en primer lugar en sentido horizontal cuando en la pantalla Lcd se emite el mensaje “Calibre Compass 1”, como se observa en la Figura 99.



Figura 99. Calibración del Compass 1 del drone Hubsan X4 PRO

- a. Antes de la calibración*
- b. Calibración completa*
- c. Mensaje de calibración*

Fuente: Control remoto-Hubsan X4 PRO

Luego de realizar tres giros en sentido horizontal el mensaje de calibración en la pantalla Lcd cambia a “Calibre Compass 2” dando paso a la calibración en sentido vertical además se puede visualizar la calibración del Compass 1 cuando las luces Led del frame cambian de rojo a verde.

La calibración en sentido vertical se realiza de la misma manera, haciendo girar tres veces en el mismo eje el drone Hubsan X4 PRO, una vez que cada acción se realice el color de las luces led cambian de rojo a verde en sentido horizontal y de verde a violeta en sentido vertical, como se observa en la Figura 100.

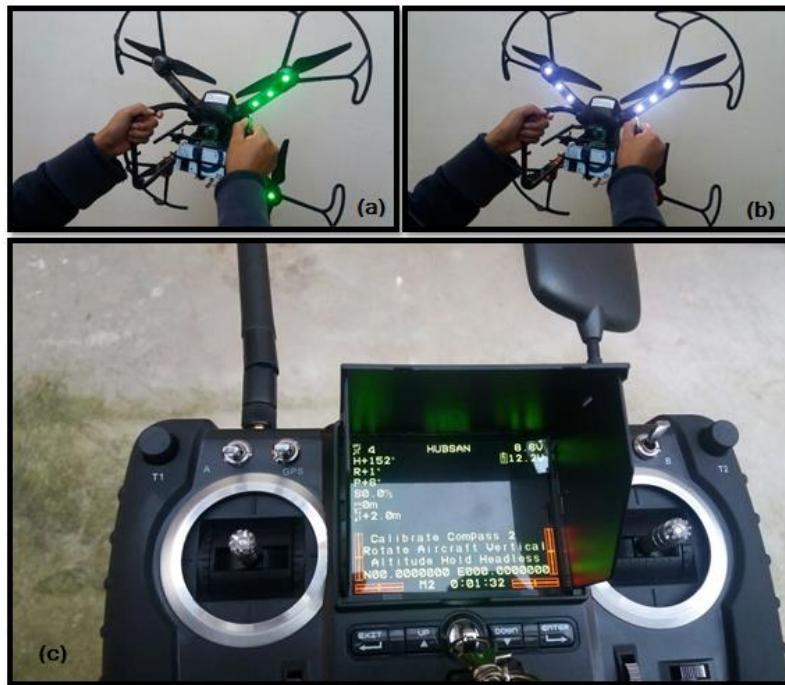


Figura 100. Calibración del Compass 2 del drone Hubsan X4 PRO

- d. Antes de la calibración
- e. Calibración completa
- f. Mensaje de calibración

Fuente: Control remoto-Hubsan X4 PRO

Cuando la calibración ha finalizado en la pantalla Lcd del control remoto se desplegará la información concerniente a altitud y la latitud como se muestra en la Figura 101.



Figura 101. Calibración completa del drone Hubsan X4 PRO
Fuente: Control remoto-Hubsan X4 PRO

8. Verificación del número de GPS

El número de GPS debe ser igual o mayor a 5 como se observa en la Figura 102, este valor se puede verificar en la pantalla del control remoto una vez que el drone se encuentre calibrado.

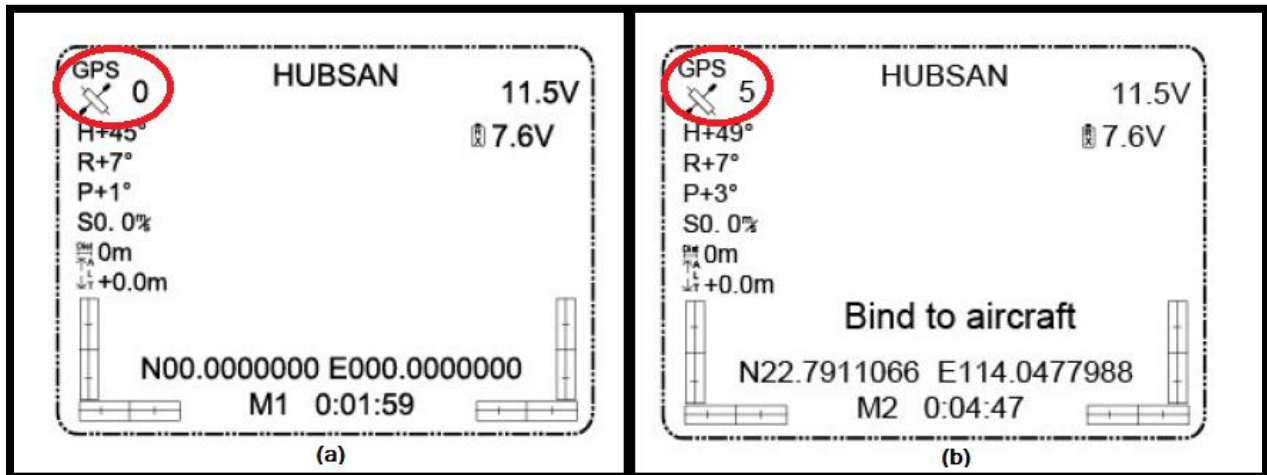


Figura 102. a. Número de GPS incompleto e imposible de realizar el vuelo

b. Número de GPS mínimo para realizar el vuelo

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

ANEXO 5: Manual de vuelo del Drone Hubsan X4 PRO

Las formas de control de vuelo se detallarán a continuación:

1. Encendido y apagado del vehículo aéreo no tripulado

Tirar de los dos palos del control remoto como se muestra la Figura 103, en el caso de encenderlo suelte después del arranque del motor y en el caso de apagarlo soltar cuando los motores se detengan.

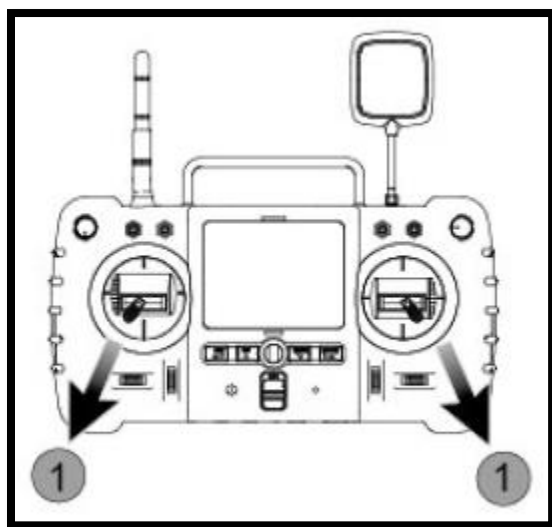


Figura 103. Encendido o apagado del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

2. Ascender y descender el vehículo aéreo no tripulado

La palanca del acelerador sirve para controlar el ascender o descender del vehículo aéreo no tripulado. Para ascender mueva el stick hacia arriba, y para descender mueva el stick hacia abajo como se observa en la Figura 104, la posición del dron se mantendrá sin cambios cuando el stick regrese al centro. Como precaución mover la palanca suavemente, para evitar que el dron ascienda bruscamente.

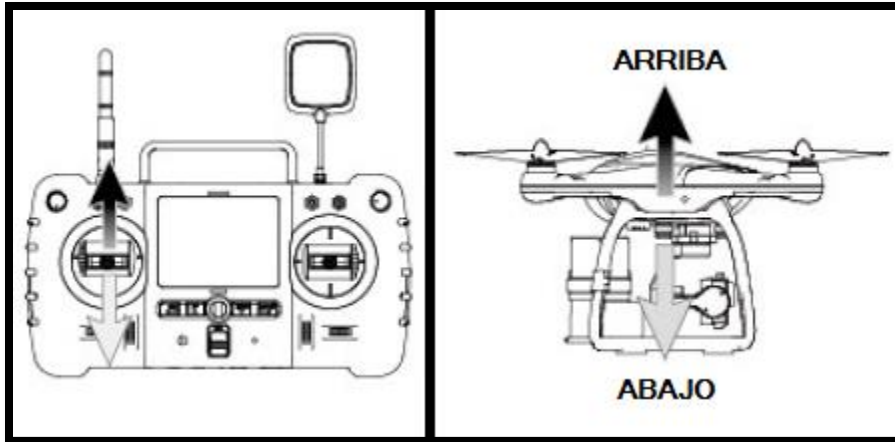


Figura 104. Control de niveles del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

3. Mover adelante y atrás el vehículo aéreo no tripulado durante el vuelo

Si el movimiento de la palanca es hacia delante, el dron se inclinará y volará hacia adelante por el contrario si el movimiento de la palanca es hacia atrás el dron se inclinará y volará hacia atrás, tal como se muestra en la Figura 105, además si mueve el stick a ambos extremos, el ángulo de inclinación será mayor y volará más rápido.

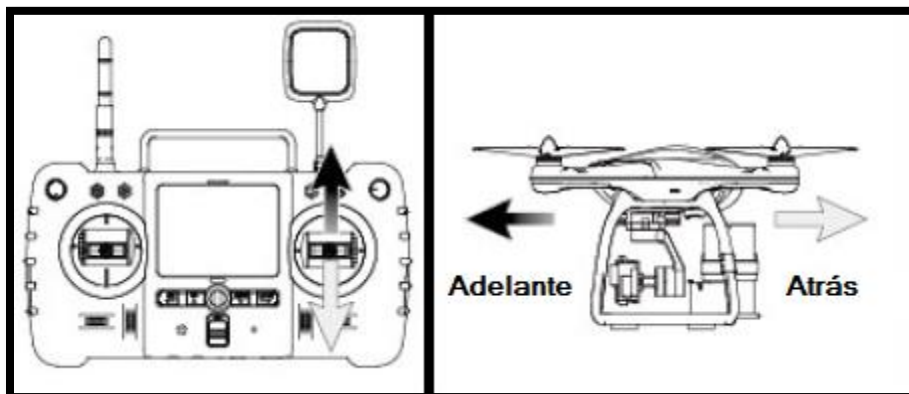


Figura 105. Control adelante y atrás del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

4. Mover a la derecha e izquierda el vehículo aéreo no tripulado durante el vuelo

Si el movimiento de la palanca es hacia la izquierda, el dron se inclinará y volará a la izquierda por el contrario si el movimiento de la palanca es a la derecha el dron se inclinará y volará a la derecha, tal como se muestra en la Figura 106 además si mueve el stick a ambos extremos, el ángulo de inclinación será mayor y volará más rápido.

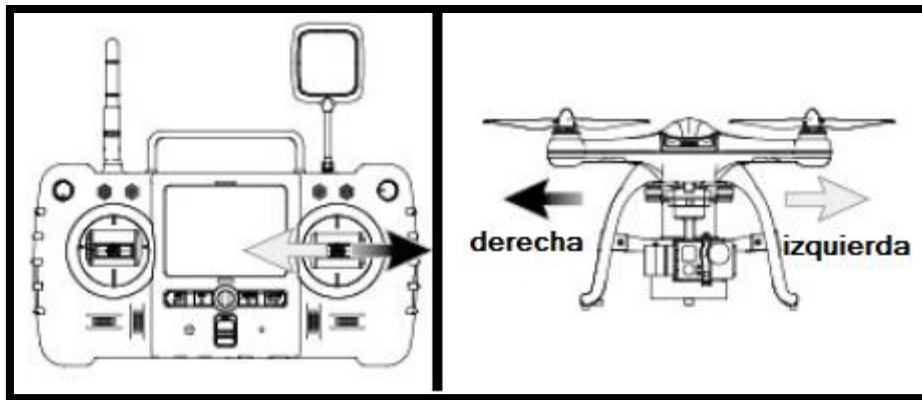


Figura 106. Control derecha e izquierda del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

5. Movimiento del vehículo aéreo no tripulado en su propio eje

El Hubsan X4 PRO girará en sentido antihorario cuando se mueva la palanca hacia la izquierda y mientras se mueva la palanca a la derecha este girará en sentido horario como se muestra en la Figura 107. El ángulo de rotación es cero y el Hubsan X4 PRO no gira cuando la palanca está en el centro.

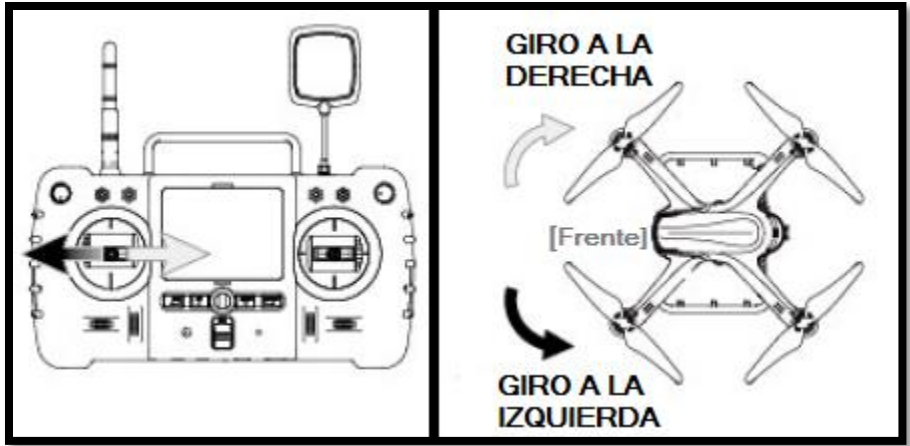


Figura 107. Control de giro del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

6. Movimiento del eje cardán

Cuando gire el interruptor en sentido horario el CC se inclinará hacia abajo mientras que cuando gire el interruptor en sentido antihorario, el CC se inclinará hacia arriba como se muestra en la Figura 108. Cuando se detiene el movimiento del interruptor, el CC mantendrá el ángulo actual.

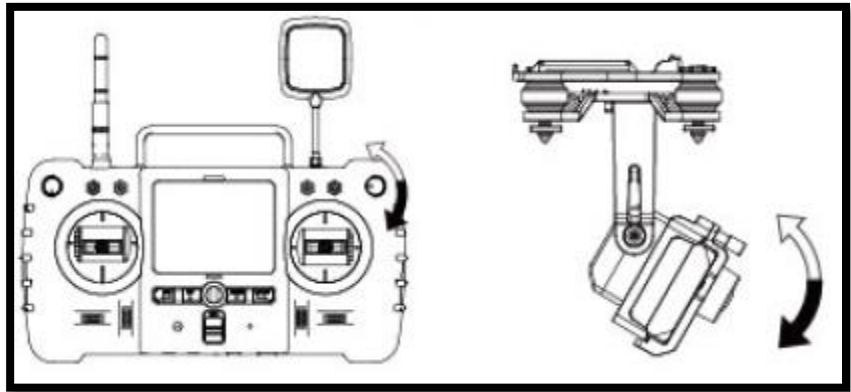


Figura 108. Control del eje cardán del vehículo aéreo no tripulado

Fuente: (The Hubsan X4 PRO, 2015)

ANEXO 6: Configuración de los Módulos Bluetooth RN-41

La configuración de los módulos se realiza por medio de la utilización de un programa terminal instalado previamente en una PC, en este caso con sistema operativo Windows 10, y utilizando el programa terminal “Tera Term”.

Para el correcto emparejamiento de los módulos, estos deben tener los mismos valores de configuración en lo que concierne a la velocidad de transmisión y código pin, además uno debe ser configurado en modo maestro y otro en modo esclavo.

A continuación, se detalla los pasos previos para realizar la configuración del módulo Bluetooth RN-41:

1. Conexión del módulo previo a la configuración

El pin de transmisión y recepción deben encontrarse conectados, esto se realiza mediante la creación de un puente entre ambos pines, además de ello el módulo debe encontrarse alimentado con un voltaje de 3.3 voltios, tal como se muestra en la Figura 109.

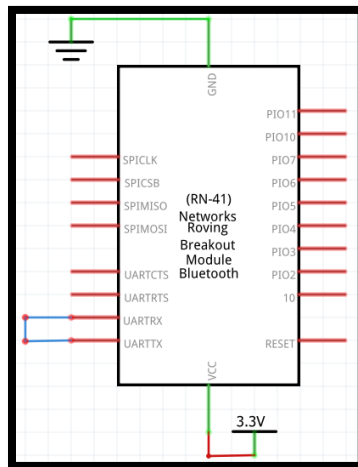


Figura 109. Conexión del módulo bluetooth RN-41 para su configuración

Fuente: Simulador Fritzing

2. Emparejamiento del módulo bluetooth con la PC

Dirigirse al icono de bluetooth que se encuentra en la barra de tareas de la PC y seleccionar la opción “Agregar un dispositivo Bluetooth”, como se muestra en la Figura 110.



Figura 110. Agregar un dispositivo Bluetooth

Fuente: Administrar dispositivos Bluetooth

Se abrirá una ventana en la cual se detectan los dispositivos que se encuentran visibles y listos para emparejar como se muestra en Figura 111.

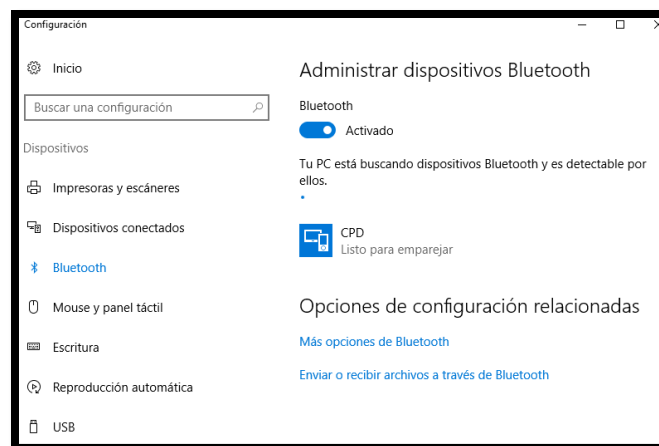


Figura 111. Detección de dispositivos bluetooth para realizar el emparejamiento con la PC

Fuente: Administrar dispositivos Bluetooth

Una vez seleccionado el dispositivo a emparejar dar doble clic sobre este, se visualizará una ventana en la cual se solicitará el PIN de autenticación, por default es “1234”, como se muestra en la Figura 112.

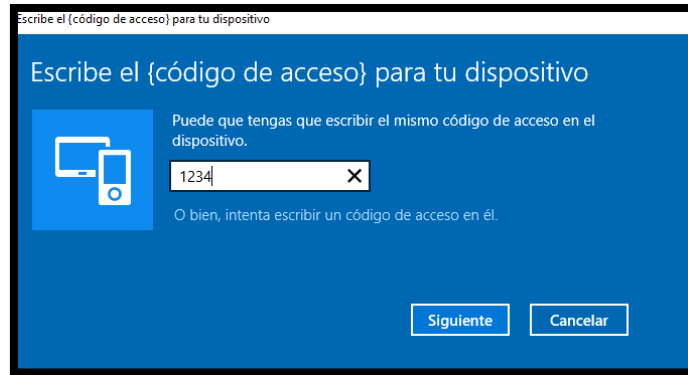


Figura 112. Solicitud de acceso del dispositivo bluetooth

Fuente: Emparejamiento de dispositivos externos

Si el código de acceso es el correcto el dispositivo se emparejará con éxito a la PC, como se observa en la Figura 113.

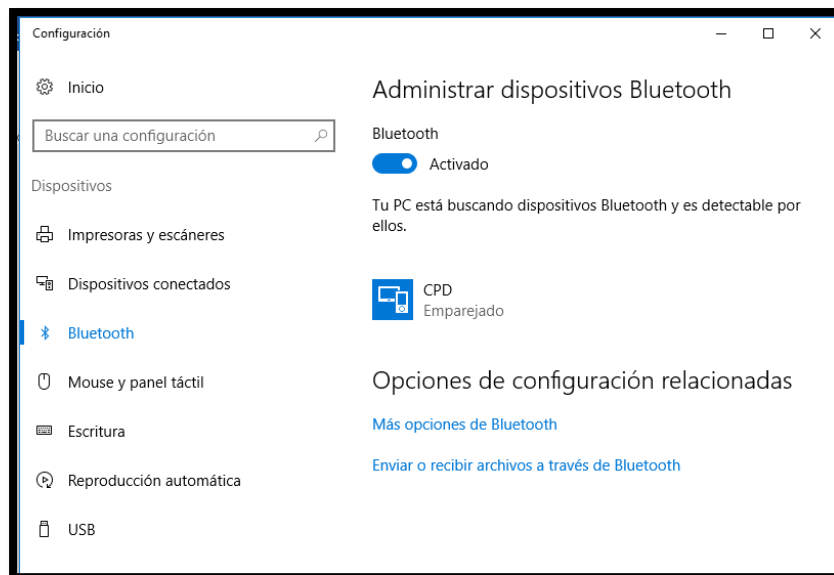


Figura 113. Emparejamiento exitoso del módulo bluetooth a la PC

Fuente: Administrar dispositivos Bluetooth

Antes de proceder con la utilización del programa terminal dirigirse a “administrador de dispositivos”, en el cual se deberá visualizar en los puertos COM el puerto asignado del módulo, como se muestra en la Figura 114.

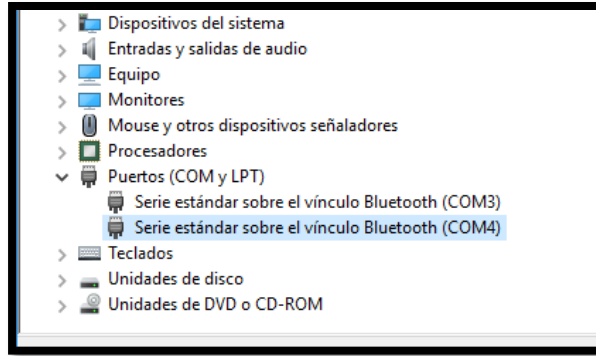


Figura 114. Visualización del puerto COM del módulo bluetooth

Fuente: Administrador de dispositivos

3. Utilización del programa Tera Term

Una vez que se haya revisado que el puerto COM del módulo bluetooth esta visible se procede a la utilización del programa.

Una vez que se encuentre en el programa seleccionar la opción Serial y proceder a escoger el puerto COM que se revisó anteriormente en el administrador de dispositivos, como se muestra en la Figura 115.

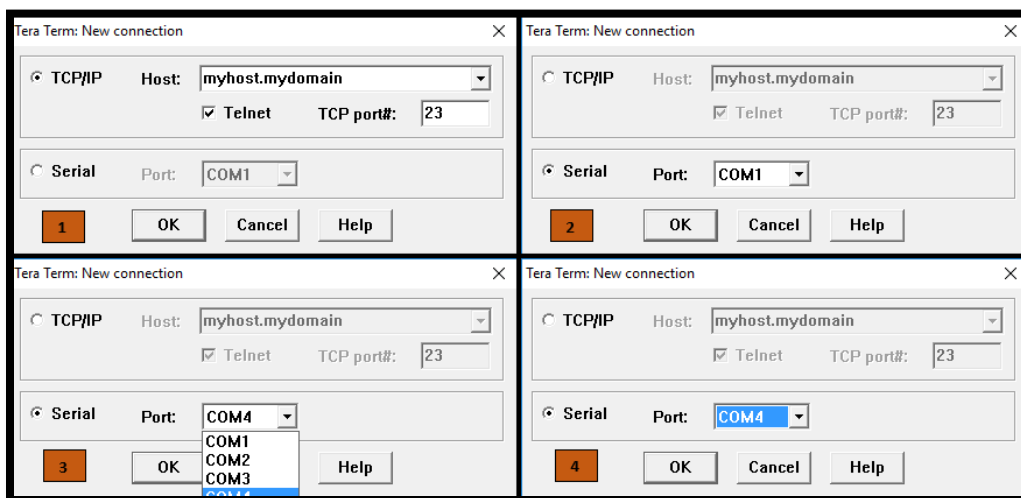


Figura 115. Selección del puerto COM del módulo bluetooth en el programa Tera Term

Fuente: Programa Tera Term

Una vez que se haya seleccionado el puerto COM dar clic en OK, e inmediatamente se procederá a abrir una nueva ventana en blanco como se muestra en la Figura 116 en la cual se procederá a digitar los comandos de configuración del módulo bluetooth.

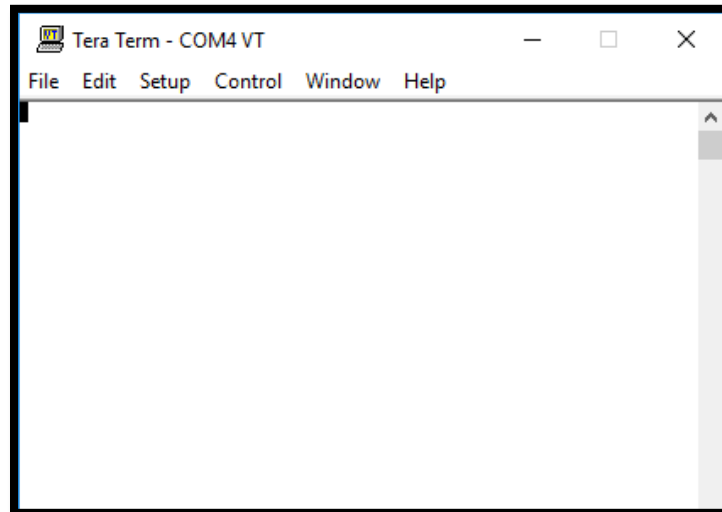


Figura 116. Ventana de configuración del programa Tera Term

Fuente: Programa Tera Term

4. Configuración del módulo bluetooth en modo esclavo.

El módulo que es configurado en modo esclavo, se encuentra ubicado en el CC, su configuración está realizada de manera que puede vincularse con el módulo ubicado en el IU.

A continuación, se presentarán en la Tabla 22 los comandos utilizados para la configuración del módulo bluetooth RN-41 en modo esclavo.

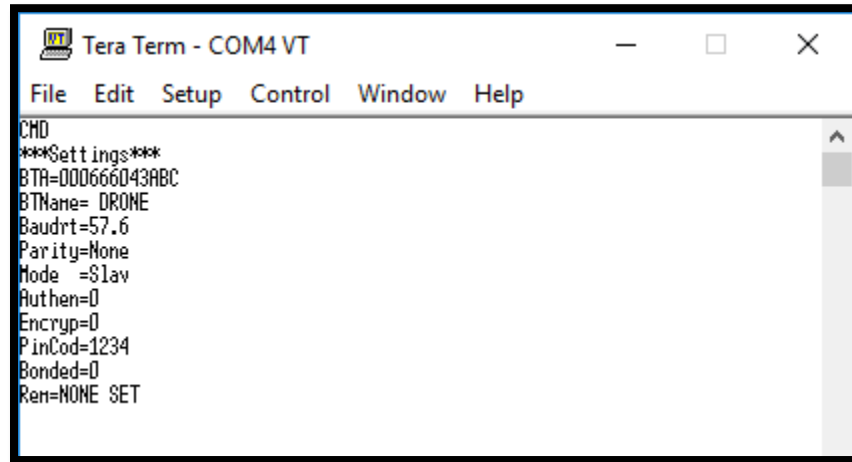
Tabla 22. Comandos utilizados para la configuración del módulo bluetooth RN-41 en modo esclavo

Comandos	Descripción
\$\$\$	Ingresar a la consola de configuración del módulo, si el comando está bien digitado el módulo responderá con CMD, y después del envío de instrucciones responderá con un AOK.
D	Permite visualizar la configuración del módulo bluetooth.
SN,DRONE	Cambia el nombre el dispositivo a “DRONE”.
SP,1234	Establece el código PIN (1234 “código por defecto”)
SM,0	Configura el módulo en modo esclavo
SU,57.6	Cambia la valor de la velocidad de transmisión “57600” (Solo se necesitan los dos primeros números).
R,1	Reinicia el módulo para que se guarden los cambios que se ha realizado en el módulo bluetooth.

Fuente: Elaborado por Ana Morales

La manera correcta de mirar si el módulo está entrando en modo de configuración es mirar el led de status de este, siempre debe estar parpadeando, después de entrar en Command mode la oscilación del led se volverá más rápida y cuando se encuentre enlazado con algún dispositivo el led deja de parpadear y se encenderá el led de estado tomando un color verde que significa conectado.

A continuación, se muestra en la Figura 117 la configuración finalizada del módulo bluetooth RN-41.



```

Tera Term - COM4 VT
File Edit Setup Control Window Help
CMD
***Settings***
BTA=000666043ABC
BTName= DRONE
Baudrt=57.6
Parity=None
Mode =Slave
Authen=0
Encryp=0
PinCod=1234
Bonded=0
Ren=NONE SET

```

*Figura 117. Visualización de la configuración realizada en el módulo bluetooth RN-41 en modo esclavo
Fuente: Programa Tera Term*

5. Configuración del módulo bluetooth en modo maestro.

El módulo que es configurado en modo maestro, se encuentra ubicado en el IU, su configuración está realizada de manera que puede vincularse de manera automática con el módulo ubicado en el CC por medio de la dirección MAC de este.

Entre las configuraciones del módulo como esclavo que se observa en la Figura 111, se puede observar también su dirección MAC “000666043ABC”, es necesario identificar esta dirección ya que es la que utiliza en la configuración del modo como maestro.

A continuación, se presentarán en la Tabla 23 los comandos utilizados para la configuración del módulo bluetooth RN-41 en modo maestro.

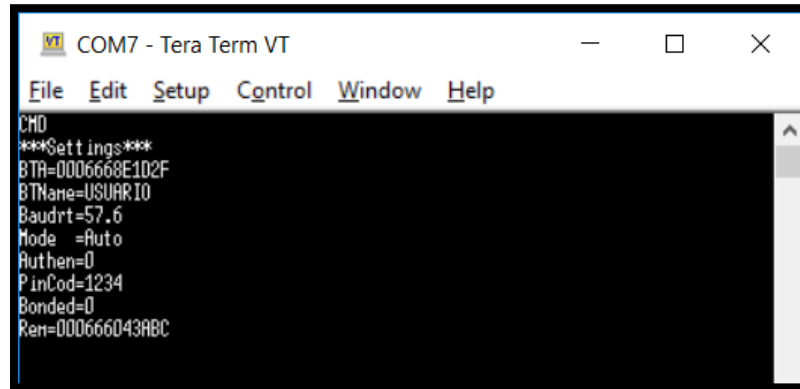
Tabla 23. Comandos utilizados para la configuración del módulo bluetooth RN-41 en modo maestro

Comandos	Descripción
\$\$\$	Ingresar a la consola de configuración del módulo, si el comando está bien digitado el módulo responderá con CMD, y después del envío de instrucciones responderá con un AOK.
D	Permite visualizar la configuración del módulo bluetooth.
SN,USUARIO	Cambia el nombre el dispositivo a “USUARIO”.
SP,1234	Establece el código PIN (1234 “código por defecto”)
SM,3	Configura el módulo en modo maestro.
SR, 000666043ABC	Establecimiento de la dirección MAC del dispositivo con el cual se va vincular de manera automática (dirección MAC del módulo ubicado en el CC)
SU,57.6	Cambia la valor de la velocidad de transmisión “57600” (Solo se necesitan los dos primeros números).
R,1	Reinicia el módulo para que se guarden los cambios que se ha realizado en el módulo bluetooth.

Fuente: Elaborado por Ana Morales

A continuación, se muestra en la Figura 118 la configuración finalizada del módulo bluetooth RN-41, en la cual se puede observar que el módulo ya se encuentra establecido en modo

maestro automático además se puede observar en la última fila la dirección del MAC del módulo con el cual se va a vincular de manera automática.



```
COM7 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
CMD
***Settings***
BTA=0006668E102F
BTName=USUARIO
Baudrt=57.6
Mode =Auto
Authen=0
PinCod=1234
Bonded=0
Ren=000666043ABC
```

Figura 118. Visualización de la configuración realizada en el módulo bluetooth RN-41 en modo maestro

Fuente: Programa Tera Term

ANEXO 7: Utilización del programa de recepción de imágenes

Para hacer uso del programa de recepción de imágenes se debe realizar el emparejamiento entre los módulos bluetooth RN-41 y determinar el puerto COM que detecto la PC en la cual se va a instalar el software de recepción, este proceso puede ser revisado en el ANEXO 6. A continuación, se detallará el proceso que se debe realizar para la utilización del programa de recepción.

1. Seleccionar el puerto COM del bluetooth que detecto la PC, como se muestra en la Figura 119.

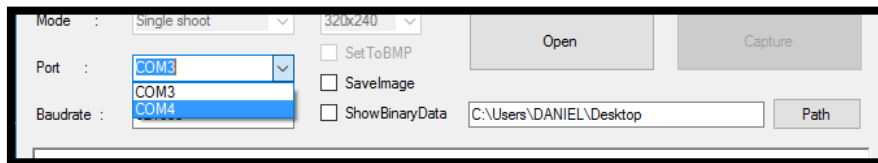


Figura 119. Selección del puerto COM

Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

2. Seleccionar la velocidad de transmisión de los fotogramas, como se muestra en la Figura 120.

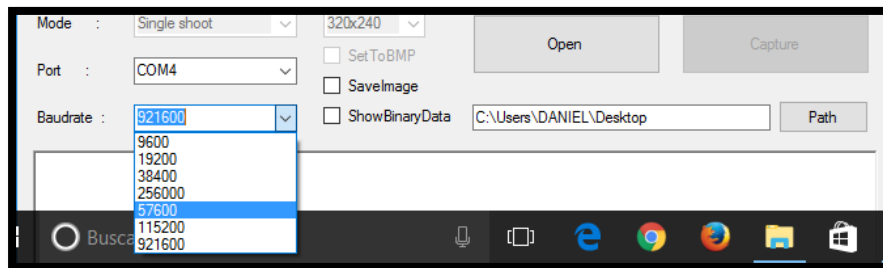


Figura 120. Selección de la velocidad de transmisión de los fotogramas

Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

3. Seleccionar la opción Save Image, como se muestra en la Figura 121.

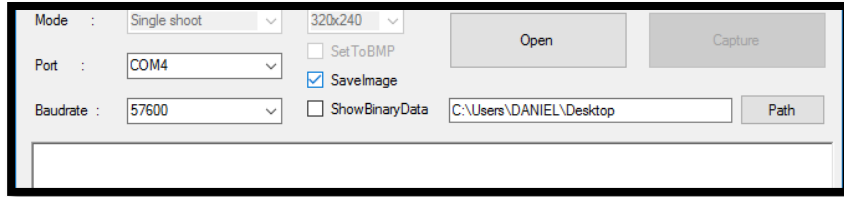


Figura 121. Selección de la opción Save Image
Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

4. Dar clic en OPEN, si la PC se vinculó con el módulo se emitirá un mensaje en la parte inferior del programa informándole que el puerto está abierto, como se muestra en la Figura 122.

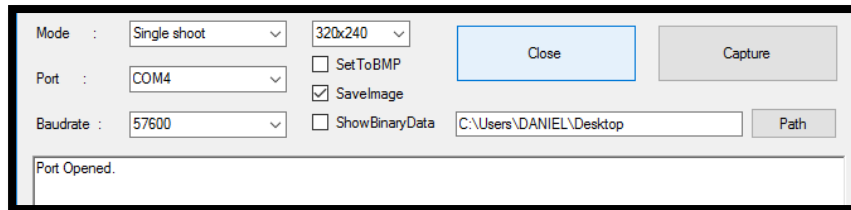


Figura 122. Selección de la opción Save Image
Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

5. Dar clic en CAPTURE, y se procederá a la captura del fotograma, cabe recalcar que el CC debe estar conectado a una fuente eléctrica, como se muestra en la Figura 123.

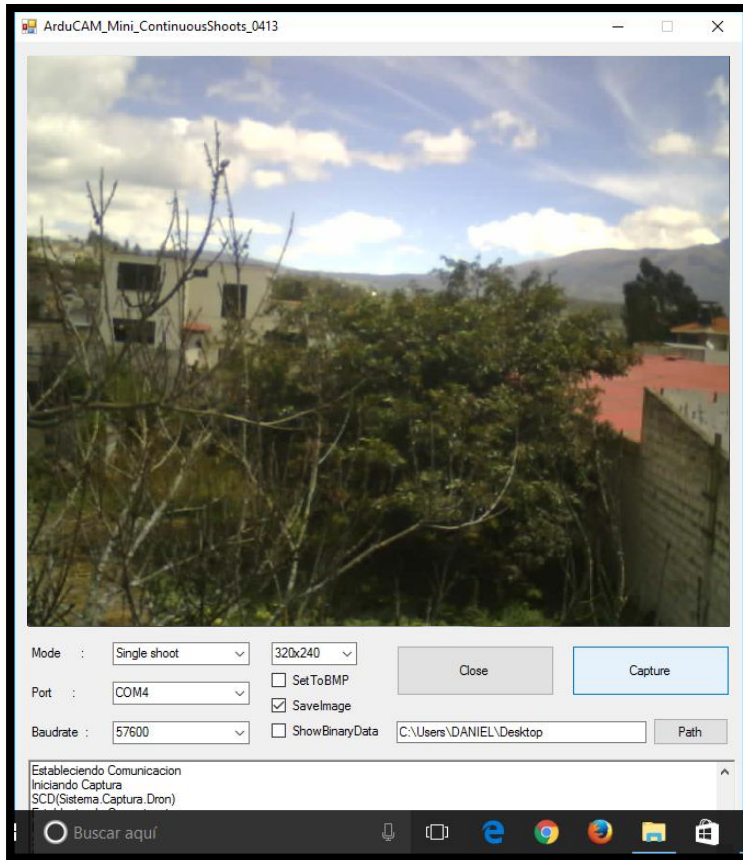


Figura 123. Recepción del fotograma
Fuente: Software de recepción de imágenes Arducam

ANEXO 8: Código de programación del sistema de captura de imágenes

Sección 1: Código de programación del CC

```
#include <Wire.h> //Librería Wire
#include <ArduCAM.h> //Librería Arducam
#include <SPI.h> // Librería Cx.SPI

const int slaveSelectPin = 10; //Declaración del número de pines del módulo cámara
ArduCAM myCAM(OV2640,10); //Declaración del módulo cámara

void setup()
{
  #if defined (__AVR__)
  Wire.begin();
  #endif
  #if defined(__arm__)
  Wire1.begin();
  #endif
  Serial1.begin(57600); //Establecimiento de la velocidad del canal serial
  delay(100); //Retardo de 0.1 segundos

  pinMode(slaveSelectPin, OUTPUT); //Establecimiento de pines como salida

  SPI.begin(); //Inicialización SPI
  myCAM.write_reg(ARDUCHIP_MODE, 0x00); //Selecciona el bus del módulo cámara

  myCAM.set_format(JPEG); //Declaración formato de salida de la imagen
  myCAM.InitCAM(); //Inicialización módulo cámara
  myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_800x600); //Establecimiento del formato de captura
}

void loop()
{
  uint8_t temp,temp_last; //Declaración de variables
  uint8_t start_capture = 0; //Inicialización de la variable en cero
  temp = Serial1.read(); //Almacenamiento de los datos recibidos por el canal serial
  switch(temp) //Comparación de la variable temp
  {
  case 0:
  myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_160x120); //Formato de captura 160x120 pixeles
  break; //Finalización
  case 1:
  myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_176x144); //Formato de captura 176x144 pixeles
  break; //Finalización
```

```

case 2:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_320x240); //Formato de captura 320x240 pixeles
break; //Finalización
case 3:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_352x288); //Formato de captura 352x288 pixeles
break; //Finalización
case 4:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_640x480); //Formato de captura 640x480 pixeles
break; //Finalización
case 5:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_800x600); //Formato de captura 800x600 pixeles
break; //Finalización
case 6:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_1024x768); //Formato de captura 1024x768 pixeles
break; //Finalización
case 7:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_1280x1024); //Formato de captura 1280x1024 pixeles
break; //Finalización
case 8:
myCAM.OV2640_set_JPEG_size(OV2640_1600x1200); //Formato de captura 1600x1200 pixeles
break; //Finalización

case 0x10:
start_capture = 1; //Variable inicializada
Serial1.println("SCD(Sistema.Captura.Dron)"); //Imprime mensaje desde el CC
Serial1.println("Estableciendo Comunicacion"); //Imprime mensaje desde el CC
delay(300); //Retardo de 0.3 segundos
Serial1.println("Iniciando Captura"); //Imprime mensaje desde el CC
myCAM.flush_fifo(); //Utilización del algoritmo FIFO
break; //Finalización
default:
break;
}
if(start_capture) //Condicionamiento para iniciar la captura
{
myCAM.clear_fifo_flag(); //Borra la captura realizada
myCAM.start_capture(); //Inicia la captura
}
if(myCAM.read_reg(ARDUCHIP_TRIG) & CAP_DONE_MASK) //Lectura de los datos
{
while( (temp != 0xD9) | (temp_last != 0xFF) ) //Creación del mapa de bits
{
temp_last = temp; //Almacenamiento de los datos en la variable
temp = myCAM.read_fifo(); //Almacenamiento del mapa de bits
Serial1.write(temp); //Envío de datos por el canal serial1
}
}

```

```

myCAM.clear_fifo_flag();           //Borra la captura realizada
start_capture = 0;                //Pone la variable de captura en cero
Serial1.println("Finalizando Captura"); //Imprime mensaje de finalización
}
}

```

Sección 2: Código de programación del IU

```

void setup()
{
Serial.begin(57600);              //Establecimiento de la velocidad del canal serial
delay(100);                       //Retardo de un 0.1 segundos
Serial1.begin(57600);             //Establecimiento de la velocidad del canal serial1
delay(100);                       //Retardo de un 0.1 segundos
}

void loop()
{
uint8_t temp, temp_last;         //Declaración de variables a utilizar
if(Serial.available()>0)         //Condicionamiento de lectura del canal serial
{
temp_last=Serial.read();         //Almacenamiento de los datos del canal serial
Serial1.write(temp_last);        //Envío de los datos por el canal serial1
}
else
{
if(Serial1.available()>0)       //Condicionamiento de lectura del canal serial1
{
temp = Serial1.read();          //Almacenamiento de los datos del canal serial1
Serial.write(temp);             //Envío de los datos por el canal serial
}
}
}
}

```