



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS DE  
PERCEPCIÓN REMOTA EN EL ECUADOR

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingenieros en Redes y  
Telecomunicaciones

Profesor guía

Mgt. Luis Santiago Criollo Caizaguano

Autores

Andrea Alejandra Andrade Santamaría

Christian Santiago Molina Bustamante

Año

2016

## **DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA**

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación

---

Luis Santiago Criollo Caizaguano  
Magister en Redes de Comunicaciones  
CI: 1717112955

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaramos que este trabajo es original, de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron disposiciones legales que protegen a los derechos de autor vigentes.

---

Andrea Alejandra  
Andrade Santamaría  
CI: 1802977544

---

Christian Santiago  
Molina Bustamante  
CI: 1804550463

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme permitido culminar con éxito este trabajo. A mi amada familia por ser mi luz, mi guía y por creer en mí. A Santy, mi novio y compañero, por su colaboración y decisión al realizar esta, nuestra tesis de ingeniería.

Andrea Andrade

## AGRADECIMIENTOS

Es importante contar con el apoyo y soporte de seres queridos para culminar con éxito este proceso de educación. Le agradezco a mi madre, a mi padre, a mis hermanos y a mis sobrinitas por todo el cariño brindado en este tiempo. Alguna vez me dijeron que el cielo es el límite, pero cuando amas lo que haces no existe un techo; gracias UDLA por enseñarme eso.

Christian Molina

## DEDICATORIA

Sin lugar a duda, mis hermanas son los motivos más grandes para desarrollar este proyecto. Y a ellas les dedico.

Andrea Andrade

## DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a la compañera perfecta para culminar proyectos, para caminar en la vida enfrentando grandes retos, a usted Andre por todo su apoyo y gran entrega para poder soñar despiertos.

Christian Molina

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación realiza un estudio del estado del arte de la percepción remota en el Ecuador, con el fin de recabar información que contribuya al desarrollo del proyecto “Implementación de un Prototipo de un Sistema de Percepción Remota” planteado por la Universidad de Las Américas. Esta investigación se basa en definiciones y análisis técnico de proyectos ya implementados en el Ecuador.

Para el correcto avance del mismo, se plantearon los siguientes objetivos: a) Definir orígenes, conceptos, características, elementos y tipos de la percepción remota, b) Describir técnicamente los componentes de los principales sistemas de percepción remota que se han desarrollado en el Ecuador en Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación Públicos, c) Identificar y describir los diagramas de bloques de los sistemas de percepción remota empleados en el Ecuador para la captura y obtención de información de diferente índole, d) Formular resultados y oportunidades de aprendizaje de los proyectos desarrollados haciendo hincapié en aquellos que todavía están en operación.

Para cumplir con lo requerido se realizó una investigación histórica, puesto que se buscaron proyectos ya implementados en el Ecuador. Se recolectó información fidedigna y relevante con el propósito de contar con sustento a la hora de entregar el presente trabajo. Con ello, se determinó que la importancia y beneficio de los proyectos de percepción remota ejecutados en Ecuador es a nivel de desarrollo social y de la seguridad del país, en propósitos que involucren condiciones ambientales dinámicas como inundaciones, actividad volcánica, incendios forestales, tráfico, búsqueda ictiológica, etc. Pues se pueden implementar varios tipos de sensores en una misma plataforma, reduciendo así costos y tiempos de ejecución.

## ABSTRACT

The following final degree project displays the study of the state of the art about the remote sensing in Ecuador. The project aims to gather data that contributes to the development of the project “Implementation of a Prototype of a Remote Sensing System” being held by the Universidad de Las Americas, UDLA. The current investigation is based on definitions and technical analysis regarding projects that have been already performed in Ecuador.

The following objectives have been considered to pursue a correct track:

- a) To define origins, conceptions, characteristics, elements, and kinds of Remote Sensing
- b) To describe technically the components of the principal remote sensing systems that have been developed in Ecuadorian institutions of higher education and Public Centers of Investigation.
- c) To identify and to describe the block diagrams of the Remote Sensing systems employed in Ecuador regarding the capture and obtainment of any sort of information.
- d) To formulate results and learning opportunities from the analyzed remote sensing projects, making emphasis on those that are currently active.

In order to meet the objectives, a historical research was performed based on projects that have been already implemented in Ecuador. Also, credible and relevant information was gathered in order to build a reliable background for the present thesis. Finally, we concluded that the importance and benefit of the Remote Sensing projects executed in Ecuador involve direct social development and national safety regarding environmental conditions such as floods, volcanic activity, forest fires, traffic, and ichthyology search among others. The main reason of such likely scope is that it is possible to employ several kinds of sensors within a single platform, which also involves reducing costs and runtimes.

## ÍNDICE

Introducción .....	1
1. Capítulo I Marco Teórico y Estado de la Percepción Remota en el Ecuador .....	2
1.1. Origen etimológico .....	2
1.2. Percepción Remota o Teledetección .....	2
1.3. Proceso de Percepción Remota.....	4
1.4. Clases de Percepción Remota .....	5
1.4.1. Percepción Remota Aérea.....	6
1.4.1.1. Ventajas de la percepción remota aérea .....	6
1.4.2. Percepción Remota Espacial o Satelital .....	7
1.4.2.1. Ventajas de la Percepción Remota Espacial o Satelital .....	7
1.4.3. Fotografía y fotogrametría .....	8
1.4.3.1. Tipos de Fotografías Aéreas .....	9
1.4.4. Teledetección Termal .....	9
1.4.5. Sistemas de Radar .....	10
1.4.5.1. Radar de Apertura Sintética – SAR .....	11
1.4.6. LiDar.....	11
1.4.6.1. Devolución de pulsos láser de LiDAR .....	12
1.5. Radiación Electromagnética.....	13
1.6. Espectro Electromagnético.....	14
1.6.1. Rayos Ultravioleta .....	16
1.6.2. Luz Visible .....	16
1.6.3. Radiación Infrarroja .....	18

1.6.4. Microondas.....	18
1.7. Interacción de la Radiación con la Atmósfera .....	19
1.7.1. Dispersión .....	19
1.7.2. Absorción .....	20
1.8. Radiación e Interacción con el Objeto.....	21
1.9. Elementos de los Sistemas de Percepción Remota.....	22
1.10. Sensores .....	23
1.10.1. Clasificación de los Sensores.....	24
1.10.1.1. Sensores Pasivos.....	25
1.10.1.2. Sensores Activos.....	25
1.10.1.3. Sensores electro-ópticos .....	26
1.10.1.4. Sensores de Microondas.....	27
1.10.1.4.1. Radiómetros de microondas.....	27
1.10.1.4.2. Altimetro Radar .....	28
1.11. Plataformas .....	28
1.11.1. RPV.....	29
1.11.2. Dron .....	29
1.11.3. Vehículo Aéreo no Tripulado – UAV .....	30
1.11.3.1. Clasificación de los UAV .....	30
1.11.3.2. Estructura de un UAV.....	33
1.11.3.2.1. Ojiva.....	33
1.11.3.2.2. Fuselaje .....	33
1.11.3.2.3. Ala.....	34
1.11.3.2.4. Cola .....	34
1.11.3.2.5. Motor.....	35

1.11.3.2.6. Control de vuelo .....	35
1.12. UAS .....	36
1.12.1. Aplicaciones de UAS .....	36
1.12.2. Composición del Sistema UAS .....	38
1.12.2.1. Estación de control .....	39
1.12.2.2. Carga útil.....	39
1.12.2.3. Vehículo aéreo .....	40
1.12.2.4. Sistema de Navegación.....	40
1.12.2.5. Lanzamiento y Recuperación .....	40
1.12.2.6. Comunicaciones.....	41
1.12.2.7. Interfaces de sistemas.....	42
1.12.2.8. Equipo de Soporte.....	43
1.12.2.9. Transporte.....	43
<b>2. Capítulo II Sistemas de Percepción Remota</b>	
<b>desarrollados en el Ecuador .....</b>	<b>44</b>
2.1. Historia .....	44
2.2. Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza	
<b>Aérea Ecuatoriana .....</b>	<b>48</b>
2.2.1. Proyecto "Rayo" RPV Cotopaxi .....	48
2.2.2. Proyecto PGA.....	50
2.2.3. Proyecto UAV .....	52
2.2.3.1. UAV-0: Aeronave de prueba y demostración .....	52
2.2.3.2. UAV-1: FÉNIX.....	54
2.2.3.3. UAV-2: GAVILÁN.....	55

2.3. Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE .....	57
2.3.1. Proyecto de Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental.....	57
2.4. Aeroseed.....	58
2.4.1. Aeroseed SKY .....	58
3. Capítulo III Análisis técnico comparativo de los sistemas de percepción remota desarrollados en el Ecuador .....	62
3.1. Plataforma de Gran Altitud .....	63
3.1.1. Sistema de Instrumentación para una PGA .....	63
3.1.1.1. Utilización de SCADA en la PGA .....	64
3.1.2. Simulador atmosférico de presión y temperatura para calibración de equipos electrónicos usados en la PGA.....	65
3.1.3. Construcción de un modelo de globo aerostático .....	66
3.2. Modernización de la aeronave controlada a distancia (RPV) Cotopaxi Proyecto “Rayo” .....	66
3.2.1. Primeros elementos de modernización.....	67
3.2.2. Viabilidad de utilización de los prototipos.....	68
3.3. Proyecto DOCR – CIDFAE.....	69
3.3.1. Diseño conceptual de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV).....	69
3.3.1.1. Diseño aerodinámico .....	70
3.3.1.1.1. Determinación del perfil Alar .....	71
3.3.1.1.2. Cálculo de derivada de estabilidad.....	72

3.3.1.1.3.	Cálculo de la Polar .....	73
3.3.1.1.4.	Cálculo de pesos y balance .....	74
3.3.1.1.5.	Análisis propulsivo .....	75
3.3.1.2.	Diseño estructural .....	76
3.3.1.2.1.	Alas.....	76
3.3.1.2.2.	<i>Flaps</i> y alerones.....	77
3.3.1.2.3.	Estabilizadores verticales y horizontales .....	78
3.3.1.2.4.	Los <i>Booms</i> .....	79
3.3.1.2.5.	Fuselaje .....	80
3.3.2.	Sistema de comunicación: Enlaces de datos para UAS.....	81
3.3.2.1.	Descripción del Sistema.....	81
3.3.2.2.	Diseño del sistema.....	82
3.3.2.3.	Rango .....	83
3.3.2.4.	Otras consideraciones.....	85
3.3.3.	Sistemas electro-ópticos implementados en Prototipos de Vehículos Aéreos no Tripulados UAVs .....	86
3.3.3.1.	Sistema óptico .....	87
3.3.3.2.	Sistemas <i>Forward Looking Infrared Radiometer</i> (FLIR).....	88
3.3.3.3.	Dispositivos <i>Laser Rangefinder</i> (LRF).....	89
3.3.3.4.	Adquisición de datos: Sistema de transmisión, control y transmisión de imágenes .....	89
3.3.4.	Sistema de Guiado, Navegación y Control Automático (GNC) de un Vehículo Aéreo no Tripulado UAV .....	90
3.3.4.1.	Sistema de control automático de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) .....	91
3.3.4.2.	Integración del piloto automático.....	93

3.3.4.3.	Configuración del piloto automático.....	94
3.3.4.4.	Desarrollo de planes de vuelo y simulaciones.....	95
3.3.4.5.	Calibración del sistema .....	96
3.3.5.	Estabilización inercial del Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) .....	97
3.3.5.1.	Solución para la estabilización de una nave no tripulada en función de una plataforma no inercial.....	98
3.3.5.2.	Implementación de los controladores para la estabilización de una nave.....	98
3.3.6.	Sistema de energía para un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) .	99
3.3.6.1.	Arquitectura del sistema de energía.....	100
3.3.6.2.	Descripción del sistema de energía.....	101
3.3.6.3.	Convertidores DC-DC .....	102
3.3.7.	Estación de Control de Tierra para Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs) .....	105
3.3.8.	Instrumentación en Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs).....	111
3.3.8.1.	Altímetros.....	112
3.3.8.2.	Sensores miniaturizados .....	113
3.4.	Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental .....	114
4.	Capítulo IV Consideraciones técnicas para el desarrollo de Proyectos de Percepción Remota en el Ecuador .....	117
4.1.	Características básicas a considerar en un UAV .....	117
4.2.	Comparación de los sistemas UAV del CIDFAE empleados en el Ecuador.....	118

4.2.1.	Importancia de las aplicaciones en apoyo al desarrollo que brindan los sistemas de percepción remota .....	119
4.3.	Diagramas de Bloques .....	124
4.3.1.	Diagrama de sensores múltiple de iMote2 .....	124
4.3.2.	Diagrama de bloques del Sistema de transmisión inalámbrica ...	125
4.3.3.	Diagrama de bloques del sistema recepción de señales del UAV .....	126
4.3.4.	Diagrama de bloques del sistema de autopiloto.....	126
4.3.5.	Diagrama de bloques del control para la estabilización de un UAV .....	128
4.3.6.	Diagrama de bloques para el control de Heading .....	129
4.3.7.	Diagrama de bloques para el control de Altura .....	130
4.3.8.	Diagrama de bloques del sistema de energía de un UAV .....	131
4.3.9.	Diagrama de Bloques de un Sistema de Percepción Remota utilizado en Ecuador .....	131
5.	Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones .....	134
5.1.	Conclusiones .....	134
5.2.	Recomendaciones .....	136
	Referencias .....	138
	ANEXOS .....	146

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Percepción Remota.....	3
Figura 2. Procesos básicos de la Percepción Remota. ....	5
Figura 3. Observación multiescala. ....	7
Figura 4. Fotogrametría. ....	8
Figura 5. Tipos de Fotografías Aéreas. ....	9
Figura 6. Sistema de Radar. ....	10
Figura 7. SAR. ....	11
Figura 8. LiDar. ....	12
Figura 9. Devolución de Láser LiDar. ....	13
Figura 10. Campo Eléctrico y Campo Magnético. ....	14
Figura 11. División del Espectro Electromagnético. ....	15
Figura 12. Espectro de Rayos Ultravioleta. ....	16
Figura 13. Espectro de luz visible.....	17
Figura 14. Radiación Infrarroja. ....	18
Figura 15. Microondas. ....	19
Figura 16. Dispersión. ....	20
Figura 17. Absorción. ....	21
Figura 18. Relación de energía y transmisión. ....	21
Figura 19. Elementos Básicos de la Percepción Remota. ....	23
Figura 20. Clasificación de los sensores. ....	24
Figura 21. Sensor Pasivo. ....	25
Figura 22. Sensor Activo. ....	25
Figura 23. Sistema electro-óptico compacto.....	26
Figura 24. Clasificación de UAVs por despegue vertical y no vertical. ....	32
Figura 25. Ojiva de un UAV.....	33
Figura 26. Fuselaje. ....	33
Figura 27. Ala.....	34
Figura 28. Cola. ....	34
Figura 29. Motor cubierto en una góndola.....	35
Figura 30. UAS – Estructura funcional. ....	38

Figura 31. Tareas del enlace de datos. ....	41
Figura 32. Sistema de sistemas (Network-centric architecture BOEING). ....	42
Figura 33. Logotipo del Proyecto RPV Cotopaxi. ....	48
Figura 34. RPV Cotopaxi.....	49
Figura 35. Plataforma de Gran Altitud. ....	50
Figura 36. Radio sondeo realizado el 14 de mayo de 2008 en la Base Aérea Cotopaxi. ....	51
Figura 37. UAV-0 Aeronave de prueba y demostración. ....	53
Figura 38. UAV – 1 Fénix. ....	54
Figura 39. UAV-2: Gavilán. ....	56
Figura 40. Diagrama de Fases del Proyecto "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental".....	57
Figura 41. Aeromodelo terminado del Proyecto "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental".....	58
Figura 42. Sello Aeroseed.....	59
Figura 43. UAV Aeroseed SKY. ....	60
Figura 44. Esquema de un avión no tripulado en la fase de diseño.....	70
Figura 45. Diseño aerodinámico visto a través de AEROdynamics. ....	71
Figura 46. Gráfica del análisis estructural de un ala. ....	77
Figura 47. Disposición de booms en un UAV. ....	79
Figura 48. Disposición de los diferentes compartimientos en el fuselaje de una aeronave no tripulada. ....	80
Figura 49. Configuración básica UAS. ....	81
Figura 50. Geometría de la línea de vista.....	83
Figura 51. Geometría del Relay de comunicaciones ....	84
Figura 52. Unidad de control (CU).....	86
Figura 53. Unidades del sistema electro-óptico.....	87
Figura 54. Unidad óptica ....	87
Figura 55. Imagen tomada por sensor electro-óptico ....	88
Figura 56. Imagen térmica del sistema electro-óptico ....	88

Figura 57. Medición de distancia a través del dispositivo LRF del sensor electro-óptico .....	89
Figura 58. Movimiento alerones .....	91
Figura 59. Movimiento del timón .....	92
Figura 60. Movimiento del Rudder .....	92
Figura 61. Arquitectura del sistema de energía. ....	100
Figura 62. Sistema GCS de paparazi .....	107
Figura 63. Sistema GCS de Ardupilot-mega .....	108
Figura 64. Arquitectura QgroundControl.....	109
Figura 65. Estación de Control de Tierra QgroundControl.....	109
Figura 66. Mini UAV del Proyecto "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental".....	115
Figura 67. Diagrama de sensores múltiple de iMote2.....	124
Figura 68. Medición del sistema de transmisión inalámbrica.....	125
Figura 69. Diagrama de bloques del sistema recepción de señales del UAV .	126
Figura 70. Diagrama de bloques del sistema de piloto automático.....	127
Figura 71. Diagrama de bloques del sistema de autopiloto .....	128
Figura 72. Diagrama general de control de un UAV. ....	129
Figura 73. Diagrama de bloques para el control de Heading.....	130
Figura 74. Diagrama de bloques para el control de Altura.....	130
Figura 75. Diagrama de bloques del sistema de energía. ....	131
Figura 76. Diagrama de bloques del sistema de percepción remota utilizado en Ecuador. ....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Colores primarios y secundarios del espectro de luz visible .....	17
Tabla 2. Sensores electro-ópticos .....	26
Tabla 3. Áreas de uso civil .....	36
Tabla 4. Áreas de uso militar .....	37
Tabla 5. Características técnicas y operativas .....	48
Tabla 6. Características UAV 0 .....	53
Tabla 7. Características UAV-1: FÉNIX.....	54
Tabla 8. Características UAV-2: Gavilán .....	55
Tabla 9. Características del UAV Aeroseed SKY. ....	60
Tabla 10. Valores de ponderación para la selección del perfil alar. ....	71
Tabla 11. Derivadas de estabilidad de una aeronave con sus respectivos signos.....	72
Tabla 12. Distribución de pesos para una aeronave no tripulada .....	74
Tabla 13. Tipos de coordenadas.....	96
Tabla 14. Cargas del Vehículo Aéreo no Tripulado UAV.....	101
Tabla 15. Características de los convertidores DC-DC .....	103
Tabla 16. Consumo de corriente de todo el sistema.....	104
Tabla 17. Características del banco de baterías .....	104
Tabla 18. Tabla comparativa de los GCS.....	110
Tabla 19. Sensores utilizados para instrumentar un UAV. ....	114
Tabla 20. Características de los sistemas de percepción remota del CIDFAE .....	118
Tabla 21. Servicios en apoyo al desarrollo que brindan los sistemas de percepción remota.....	120

## Introducción

La percepción remota es considerada una herramienta importante para la dimensión territorial y la posterior elaboración de mapas, detección de fenómenos naturales y medición de la erosión del suelo, por nombrar algunos; todo ello con el fin de planificar el desarrollo integral de una comunidad, región o país. (Organización de Estados Americanos [OAS], 2005).

En el Ecuador la percepción remota está en constante evolución, pues cumple etapas de investigación, desarrollo y ejecución. Se debe mencionar, que hasta hace algunos años, este tema estaba reservado únicamente para instituciones tales como el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE). Actualmente, ya se comercializan drones para diversos propósitos como captura y transmisión de video en tiempo real y obtención de datos en agricultura de precisión.

Para el estudio actual se consideraron los proyectos desarrollados por el CIDFAE: (1) "Rayo" RPV Cotopaxi, (2) Plataforma de Gran Altitud, (3) Proyectos UAV-0 (Fénix), UAV-1 (Halcón) y UAV-2 (Gavilán). También, el Proyecto de Innovación Tecnológica "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental" desarrollado por el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, actual Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## **1. Capítulo I Marco Teórico y Estado de la Percepción Remota en el Ecuador**

Este capítulo tiene por objetivo elaborar un marco teórico que incluye conceptos, definiciones y características previas y necesarias para realizar el análisis de los proyectos de percepción remota realizados en el Ecuador. La información descrita a continuación facilitará el posterior análisis del desarrollo de los proyectos considerados para el presente trabajo de titulación.

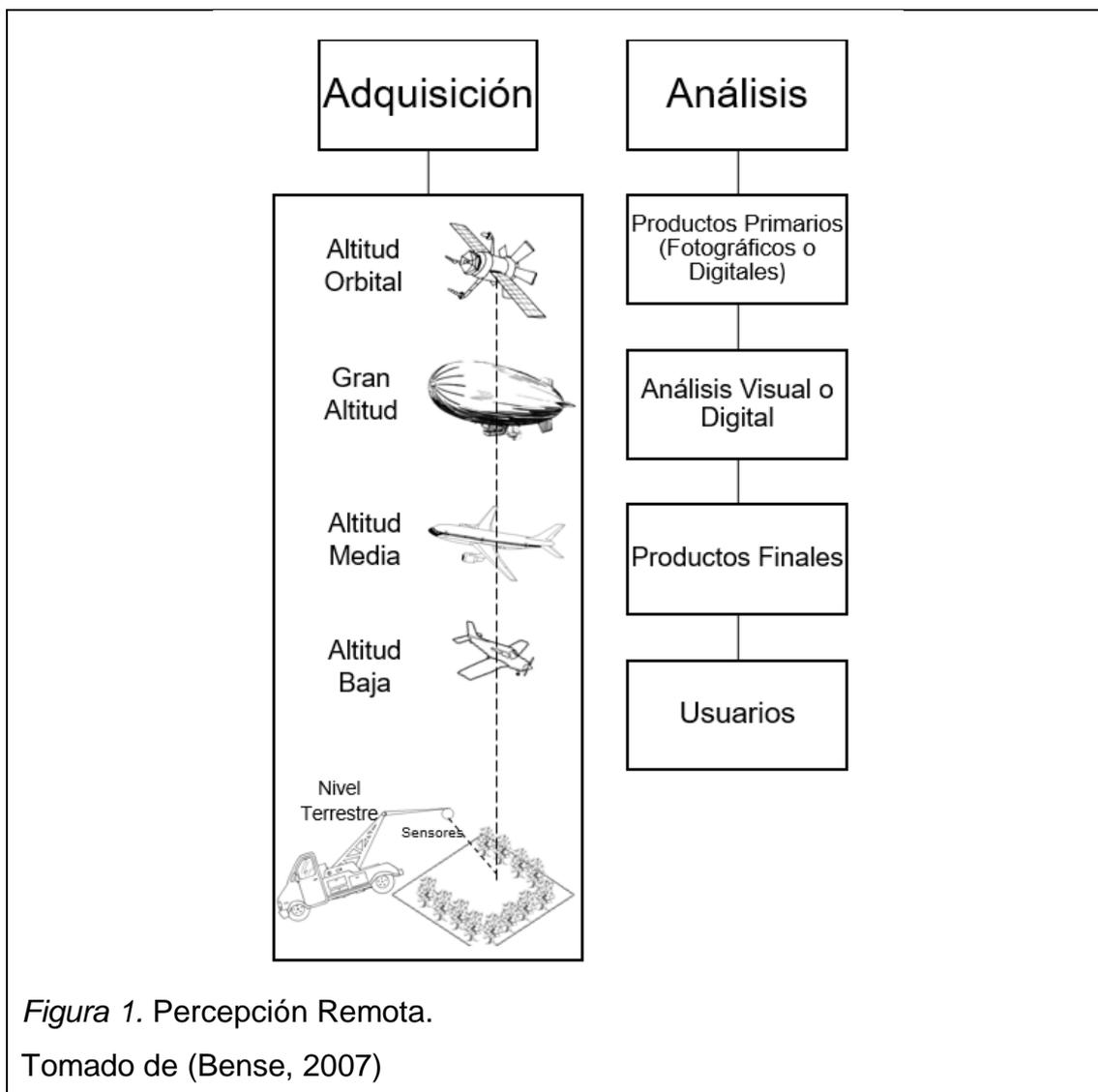
### **1.1. Origen etimológico**

La palabra percepción proviene del latín “perceptio” que significa capturar por completo las cosas; y remota viene del latín “remōtus o remōvere” que hace referencia a la distancia. Por lo tanto, percepción remota es capturar cosas por completo a una distancia de separación entre el dispositivo que adquiere datos y los objetos.

### **1.2. Percepción Remota o Teledetección**

La teledetección se define como la medición de las propiedades de un objeto en la superficie de la tierra a partir de datos obtenidos por sensores ubicados en aviones, satélites o dispositivos remotos. Dado que no se tiene contacto directo con el objeto de interés, se debe confiar en las señales propagadas por dichos dispositivos, las mismas que pueden ser: ópticas, acústicas, microondas, etc. Por lo general los datos de teledetección pueden consistir en mediciones de puntos en la tierra o de perfiles de elevación a lo largo de una trayectoria. Anteriormente las mediciones obtenidas por imágenes eran consideradas muy útiles, pero en la actualidad existen herramientas que permiten obtener información con características detalladas alcanzadas a partir de sensores electro-ópticos, de proximidad, radares, entre otros.

Según Schowengerdt (2007, p. 2), los sensores que se encuentran en plataformas están diseñados para detectar variaciones en la emisión y recepción de radiación electromagnética. Los sistemas de teledetección; en particular los desplegados en los satélites, proporcionan una visión repetitiva y constante de la tierra, que es muy valiosa para el seguimiento a corto plazo, los cambios a largo plazo y el impacto de las actividades humanas.



La Secretaría Marina Mexicana (s.f.) menciona que la percepción remota fomentó el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual se define como el conjunto de técnicas para medir la energía electromagnética reflejada por la superficie terrestre, dependiendo de su naturaleza y distribución.

A continuación se nombran aplicaciones importantes de la tecnología de teledetección:

- Evaluación ambiental y monitoreo (crecimiento urbano, residuos peligrosos).
- Detección y seguimiento del cambio global (agotamiento del ozono atmosférico, deforestación, calentamiento global).
- Agricultura (condición de cultivos, predicción de su rendimiento, erosión del suelo).
- Exploración de recursos no renovables (minerales, petróleo, gas natural).
- Recursos naturales renovables (zonas húmedas, suelos, bosques, océanos).
- Meteorología (dinámica de la atmósfera, predicción del tiempo).
- Mapeo (topografía, uso del suelo, ingeniería civil).
- Vigilancia militar y reconocimiento de intrusos (política estratégica, evaluación táctica).
- Medios de comunicación (ilustración, análisis). (Schowengerdt, 2007, pp. 2-3)

### **1.3. Proceso de Percepción Remota**

La Percepción Remota involucra una interacción entre la radiación incidente y el objeto de interés. Existen sistemas de imágenes y sistemas de sensores remotos no basados en imágenes. Se detallan los siguientes elementos del proceso de teledetección:

- Fuente de Energía o Iluminación: El primer punto es contar con una fuente que ilumine o genere energía electromagnética al objeto de interés.
- La Radiación y la Atmósfera: la energía viaja desde su origen hacia el objeto, causando una interacción con la atmósfera. Este proceso se repite porque la energía también viaja del objeto al sensor.

- Interacción con el Objetivo: después que la energía se conecta con el objeto, su interacción depende de las propiedades tanto del objeto como de la radiación.
- Captura de Energía por el Sensor: cuando la energía del objetivo se ha dispersado, se necesita un sensor remoto para capturar y almacenar la radiación electromagnética.
- Transmisión, Recepción y Procesamiento: la energía almacenada por el sensor debe ser transmitida de manera electrónica a una estación de recepción y procesamiento, donde los datos son convertidos a imágenes o mostrados como datos numéricos.

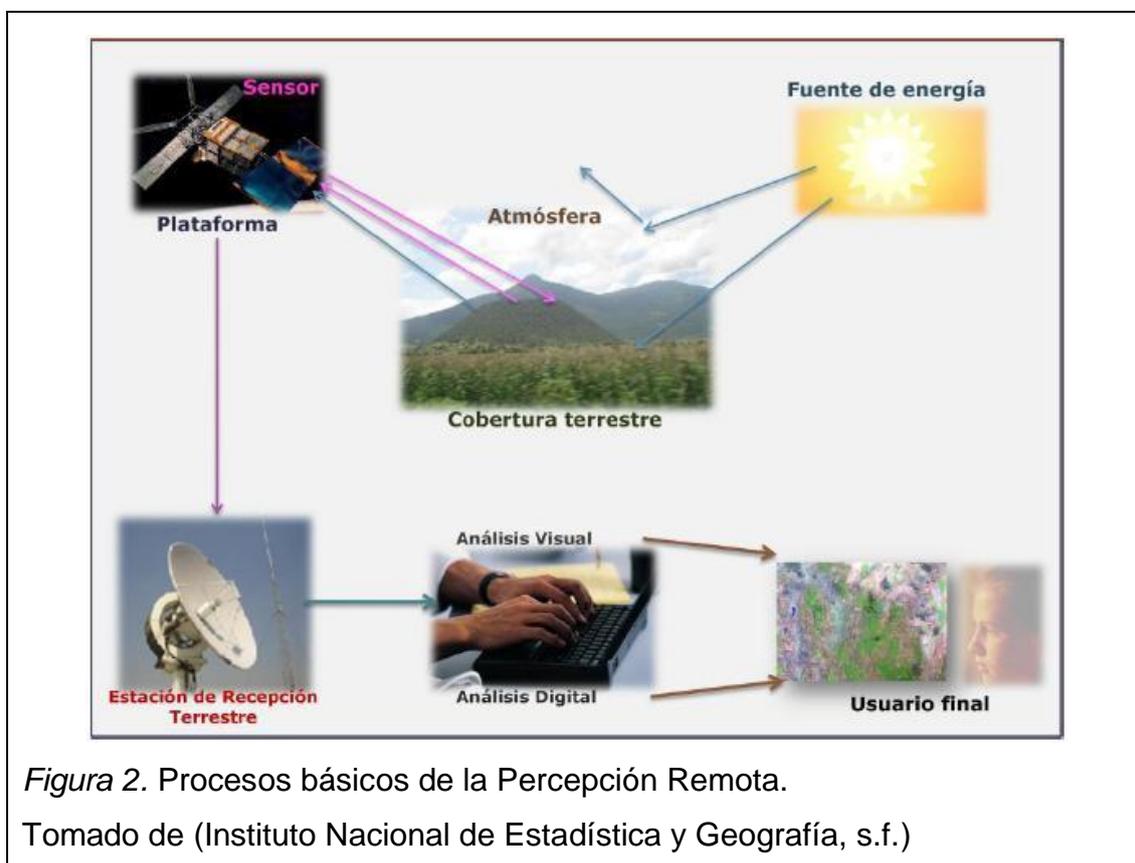


Figura 2. Procesos básicos de la Percepción Remota.

Tomado de (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.)

#### 1.4. Clases de Percepción Remota

La percepción remota se puede clasificar en función a la plataforma utilizada (donde van situados los sensores) y en función al alcance.

Según la plataforma usada se clasifica en:

- Percepción remota aérea.
- Percepción remota espacial.

Según el alcance se clasifica en:

- Percepción remota satelital.
- Fotografía y fotogrametría.
- Termal.
- Radar.
- LiDar.

#### **1.4.1. Percepción Remota Aérea**

La percepción remota aérea es el proceso que permite obtener información con sensores a bordo de diversas plataformas como aeronaves, globos, aviones, helicópteros, vehículos aéreos no tripulados (UAV), y otras.

##### **1.4.1.1. Ventajas de la percepción remota aérea**

La percepción remota aérea puede ser usada para el análisis de todo tipo de recursos naturales, estudios de aproximación, relieve y cartografía en sectores permitidos; siempre y cuando se encuentren dentro de las disposiciones complementarias que norman la Operación de los sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) conocidas como drones o Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (*Unmanned Aerial System* [UAS]), establecido por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC):

- La percepción remota aérea permite contar con detalles de la superficie terrestre en menor escala que la imagen satelital, siendo muy útil para trabajos en áreas reducidas.

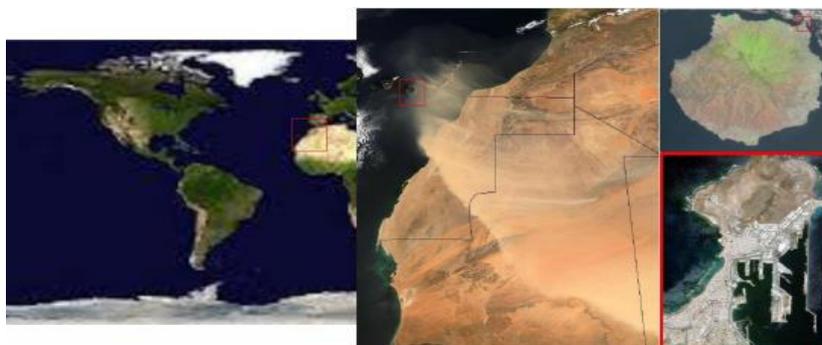
- Puede ser usada también, en objetivos que involucren condiciones ambientales dinámicas como inundaciones, incendios forestales, tráfico, búsqueda ictiológica, etc.
- Permite diseño y rediseño de planes de trabajo de acuerdo a necesidades como relieves o perfiles cartográficos, debido a que se pueden implementar varios tipos de sensores en una misma plataforma usada, reduciendo así costos y tiempos de ejecución.

#### 1.4.2. Percepción Remota Espacial o Satelital

La percepción remota espacial, es el proceso de obtener representaciones visuales de la información capturada por un sensor instalado en un satélite artificial autónomo, naves espaciales tripuladas o estaciones satelitales. Los cuales pueden circular en Órbitas Terrestres Geoestacionarias (GEO), Órbitas Terrestres Medias (MEO) u Órbitas Terrestres de baja altura (LEO).

##### 1.4.2.1. Ventajas de la Percepción Remota Espacial o Satelital

- Variedad de resolución espacial, número de regiones espectrales o bandas que registran imágenes, periodicidad con que se obtienen las escenas en los satélites.
- Cobertura global y periódica de extensas zonas de la Tierra.
- Observación multiescala y tratamiento digital de las imágenes recibidas.



*Figura 3. Observación multiescala.*

Tomado de (González, Ruiz y Acosta, 2014, p. 14)

### 1.4.3. Fotografía y fotogrametría

Según Otero, Ezquerro, Rodríguez-Solano, Martín y Bachiller (s.f.) este tipo de percepción remota permite obtener medidas reales de la superficie terrestre a partir de fotografías, mismas que son obtenidas desde vehículos aéreos (fotogrametría aérea) en donde se encuentra una cámara fotográfica con su eje óptico perpendicular a la corteza terrestre. La fotogrametría se puede dividir de acuerdo al método empleado para reconstruir la información:

- Fotogrametría analógica. Se realiza la determinación precisa de un objeto en el espacio con sistemas ópticos o mecánicos por medio de la utilización directa de las fotografías recolectadas.
- Fotogrametría analítica. Se construye el modelo espacial del objeto exclusivamente con programas informáticos que simulan dicha geometría.
- Fotografía digital. Se utilizan fotografías aéreas previamente convertidas a un formato digital para construir el modelo espacial de forma numérica o digital.

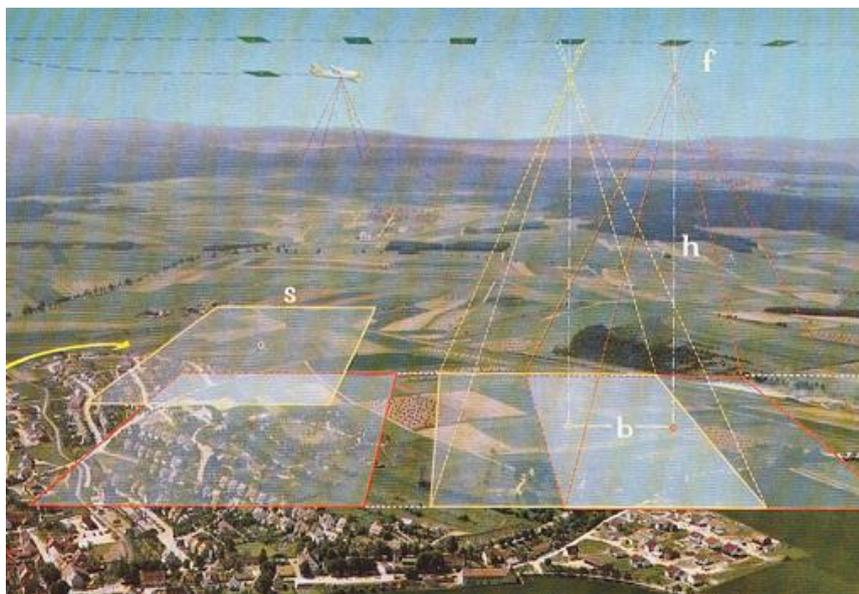
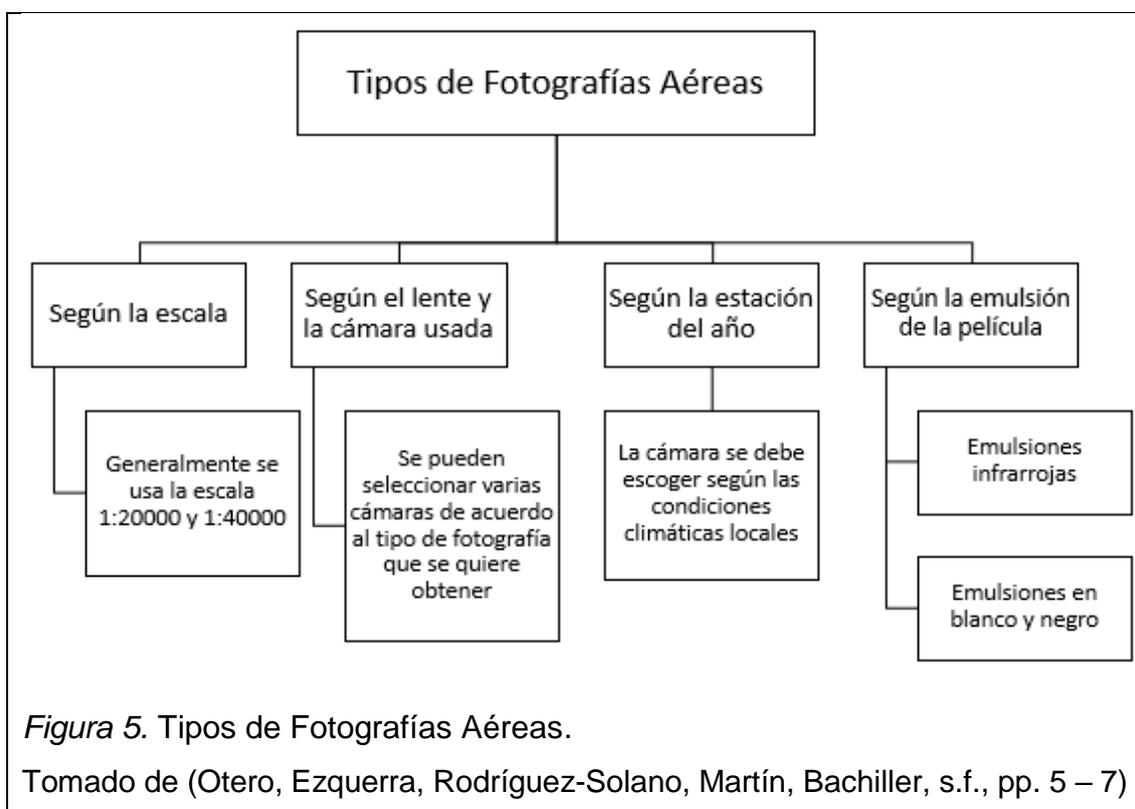


Figura 4. Fotogrametría.

Tomado de (Hevitop, s.f.)

### 1.4.3.1. Tipos de Fotografías Aéreas



### 1.4.4. Teledetección Termal

La radiación infrarroja térmica se refiere a las ondas electromagnéticas con una longitud de onda de entre 3,5 y 20  $\mu\text{m}$ . La mayoría de las aplicaciones de teledetección hacen uso de la gama de 8 a 13  $\mu\text{m}$ . La principal diferencia entre infrarrojo térmico y el infrarrojo (infrarrojo de color - CIR) es que el primero emite energía que se detecta digitalmente, mientras que el segundo que se denomina "fotografía infrarroja" refleja la energía causante de una reacción química en la emulsión de la película.

La imagen termal es difícil de interpretar y procesar porque hay absorción por parte de la atmósfera. Todas las capturas realizadas pueden llamarse imágenes pero no todas fotos, puesto que para denominarlas así deben tener un tratamiento digital y esto no sucede en una fotografía termal. Este tipo de teledetección se considera limitada puesto que las imágenes termales son muy

caras para comprar y procesar. La mayoría de ellas tienen parámetros estrictos tanto técnicos como operacionales. Incluso, este sistema es difícil de calibrar por la variación de la temperatura y las interacciones impredecibles con la humedad atmosférica. (Universidad de California en Santa Bárbara, s.f.).

#### 1.4.5. Sistemas de Radar

La página web Uchile publica el documento del Centro Canadiense de Teledetección (s.f., pp. 13-15), el cual explica que:

“Radar es el acrónimo del inglés de detección y localización por radio. El dispositivo como tal tiene su propia fuente de energía y por lo tanto, puede funcionar durante el día o la noche sin importar la nubosidad. A este tipo de sistema se le conoce como un sistema de percepción remota activo”.

El sistema de radar funciona de la siguiente manera (Uchile, s.f.):

- Transmite señales de microondas (radio) con dirección a un objetivo.
- Recibe la energía transmitida, misma que sufre de reflexión con relación a la escena iluminada.
- Observa la potencia de la señal reflejada y el tiempo necesario para que la señal regrese al sensor.

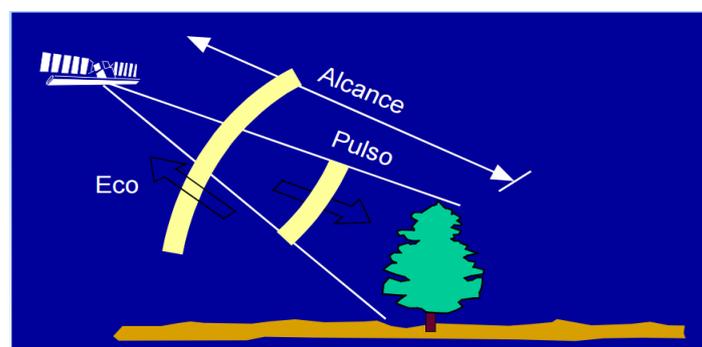


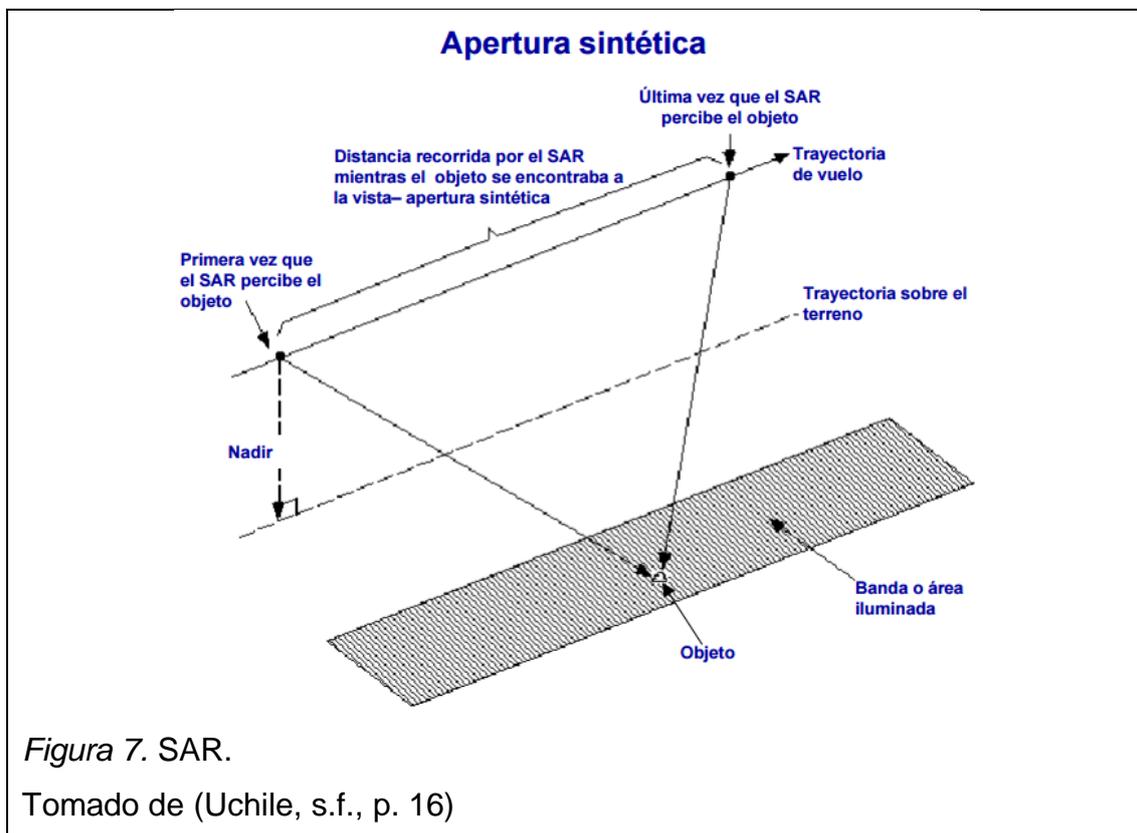
Figura 6. Sistema de Radar.

Tomado de (Uchile, s.f., p.19)

### 1.4.5.1. Radar de Apertura Sintética – SAR

Este tipo de radar, según la definición de (Uchile, s.f., pp. 17-19):

“Es un sistema de radar de iluminación lateral que produce una imagen de fina resolución de la superficie bajo observación. Al moverse a lo largo de su trayectoria, el radar ilumina hacia un lado de la dirección de vuelo franjas continuas y paralelas entre sí de la superficie en estudio y acumula la información de las microondas que se reflejan. La señal que se graba a bordo, se procesa apropiadamente para formar la imagen de un barrido digital”.

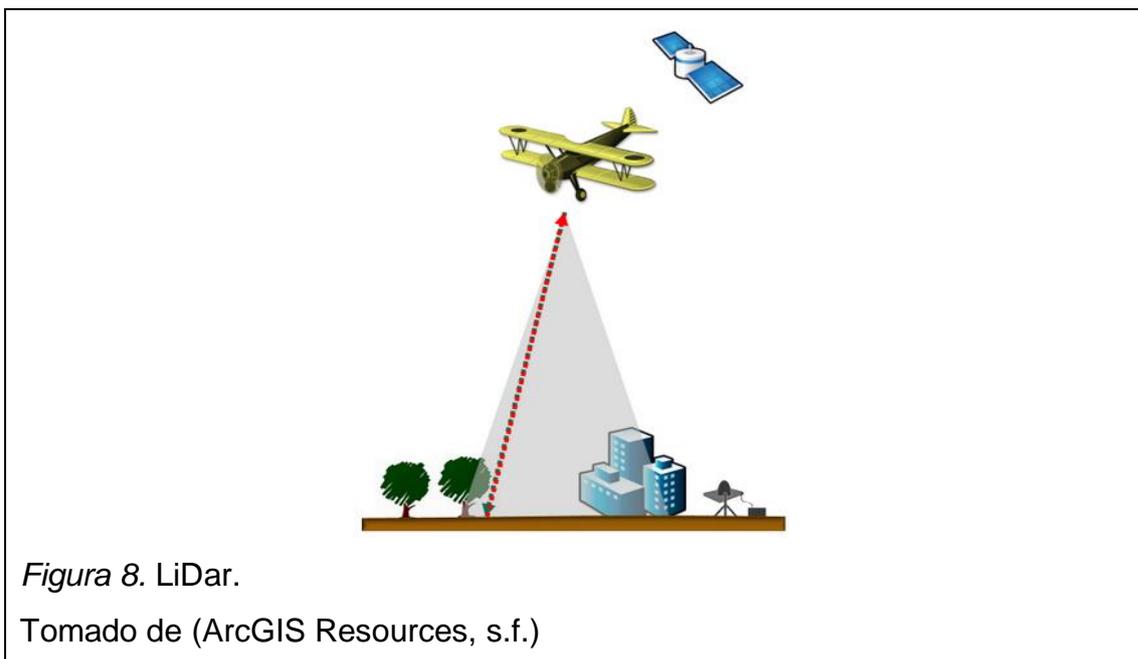


### 1.4.6. LiDar

*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging* (LiDar) es una técnica de teledetección óptica que usa pulsos láser para obtener una

muestra de la superficie de la tierra en tres dimensiones (x, y, z). Los componentes principales de este sistema son una plataforma que pueden ser: aviones, helicópteros y vehículos no tripulados; un sistema de escaneo láser, un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y un Sistema de Navegación por Inercia (ISN). Este último mide la rotación, inclinación y encabezamiento del sistema LiDar. (ArcGIS Resources, s.f.)

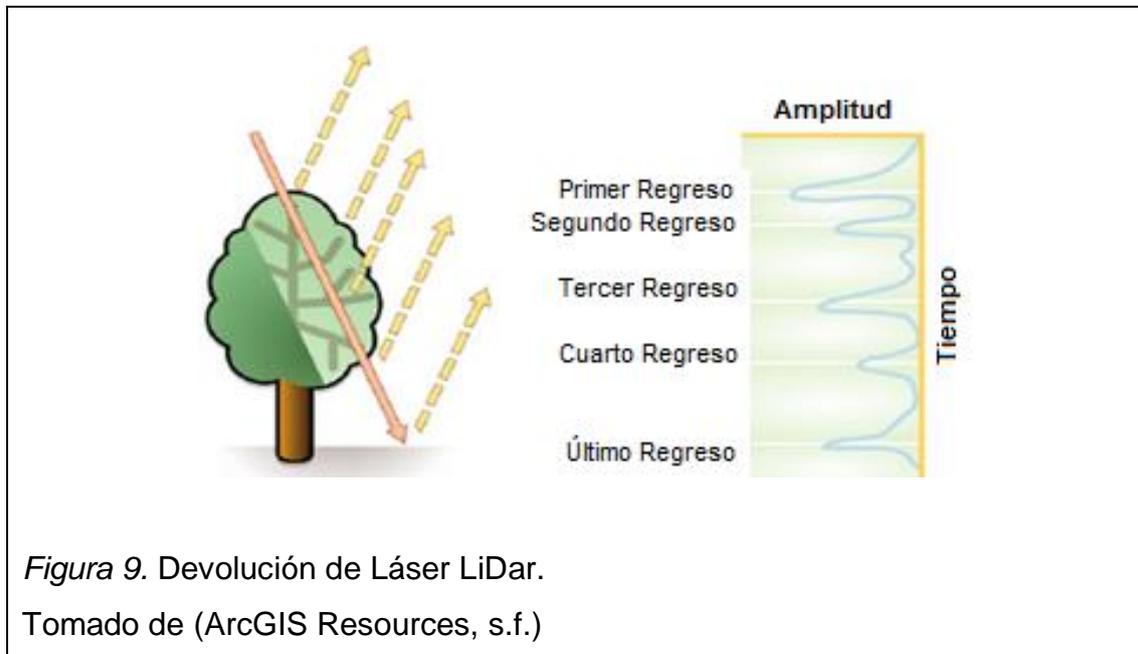
“LiDar es un sensor óptico activo que trasmite rayos láser a un objetivo mientras se mueve a lo largo de rutas topográficas específicas. Los receptores registran el tiempo exacto desde que el pulso láser dejó el sistema hasta cuando regresó para calcular la distancia límite entre el sensor y el objetivo. Al combinar la información posicional del GPS e ISN se obtienen medidas de puntos tridimensionales reales del objetivo”. (ArcGIS Resources, s.f.)



#### 1.4.6.1. Devolución de pulsos láser de LiDAR

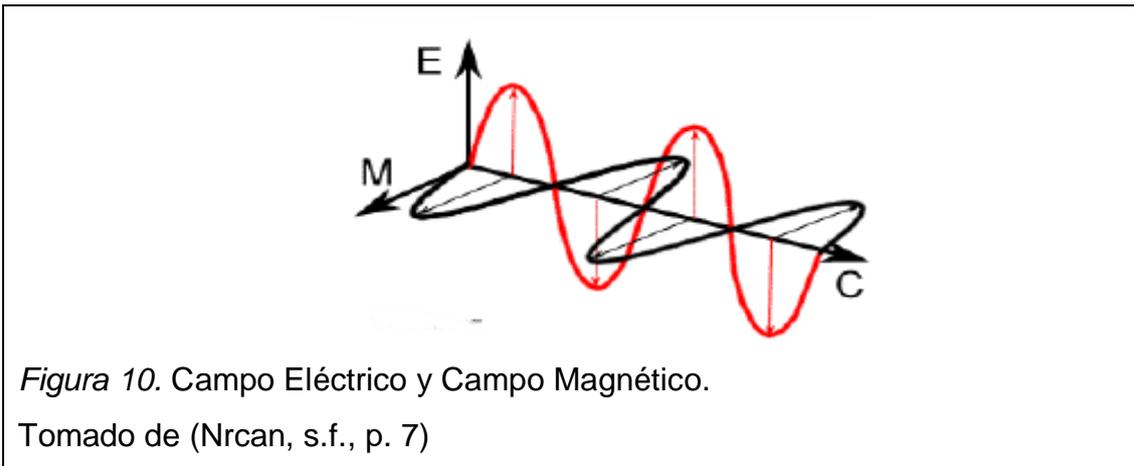
Los pulsos láseres enviados se reflejan en objetos sobre la superficie del suelo como por ejemplo: flora y edificaciones. Un pulso láser puede regresar al sensor LiDar como uno o varios retornos; siendo el más importante el primero en ser

devuelto pues se asociará con la entidad más grande en el panorama como la copa de un árbol o la parte superior de un edificio. La primera devolución también puede representar el suelo, en cuyo caso el sistema LiDar solo detectará un regreso. (ArcGIS Resources, s.f.)



### 1.5. Radiación Electromagnética

La energía está en forma de radiación electromagnética y por ser un factor importante para la teledetección, se lo mencionará en este trabajo. Todas las radiaciones electromagnéticas tienen propiedades y comportamientos de acuerdo a la teoría básica de las ondas. Esta radiación consta de un campo eléctrico que es perpendicular a la dirección en que viaja la radiación, y de un campo magnético que se encuentra formando un ángulo recto con el campo eléctrico como se muestra en la siguiente figura. Ambos campos viajan a la velocidad de la luz.



Las radiaciones electromagnéticas tienen dos características importantes que son la longitud de onda que es la distancia que existe durante el ciclo de una onda y la frecuencia que se refiere al número de ciclos de la onda en un tiempo determinado.

Estos se relacionan entre sí por la siguiente fórmula:

$$c = \lambda f \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$c$  = velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s)

$f$  = frecuencia (Hz)

$\lambda$  = longitud de onda (m)

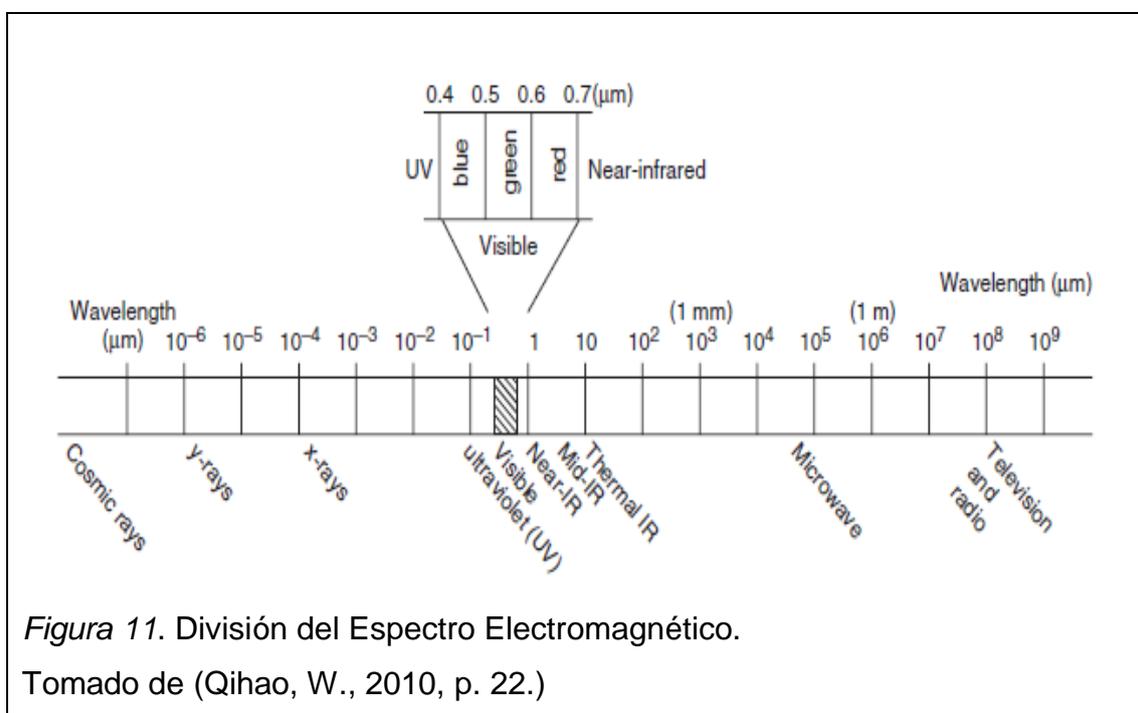
Existe una relación inversamente proporcional entre ellas, pues a mayor longitud de onda menor frecuencia y viceversa.

## 1.6. Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el rango continuo de la radiación electromagnética, incluyendo los rayos gamma, las ondas radioeléctricas y la luz visible.

El espectro electromagnético puede ser dividido en siete regiones:

- Rayos Gamma
- Rayos X
- Rayos Ultravioleta
- Luz Visible
- Luz Infrarroja
- Microondas
- Ondas Radioeléctricas



La percepción remota envuelve la medición de energía en varios rangos del espectro electromagnético. En la detección por satélite, las áreas que más se usan son luz visible, infrarrojo y microondas. Los sensores en satélites han sido diseñados para medir respuestas en bandas espectrales particulares con el fin de discriminar materiales de la superficie terrestre, es decir, específicamente obtener datos del objeto. (Qihao, 2010, p. 22).

### 1.6.1. Rayos Ultravioleta

Constituye una parte del espectro electromagnético que tiene las longitudes de onda más pequeñas, mismas que son usadas para la teledetección. La mayoría de materiales de la superficie terrestre principalmente rocas y minerales emiten una luz visible al ser iluminados con radiación ultravioleta. Su longitud de onda se encuentra entre los  $4 \times 10^{-7}$  y los  $15 \times 10^{-8}$  (m). (Nrcan, s.f., p. 9)

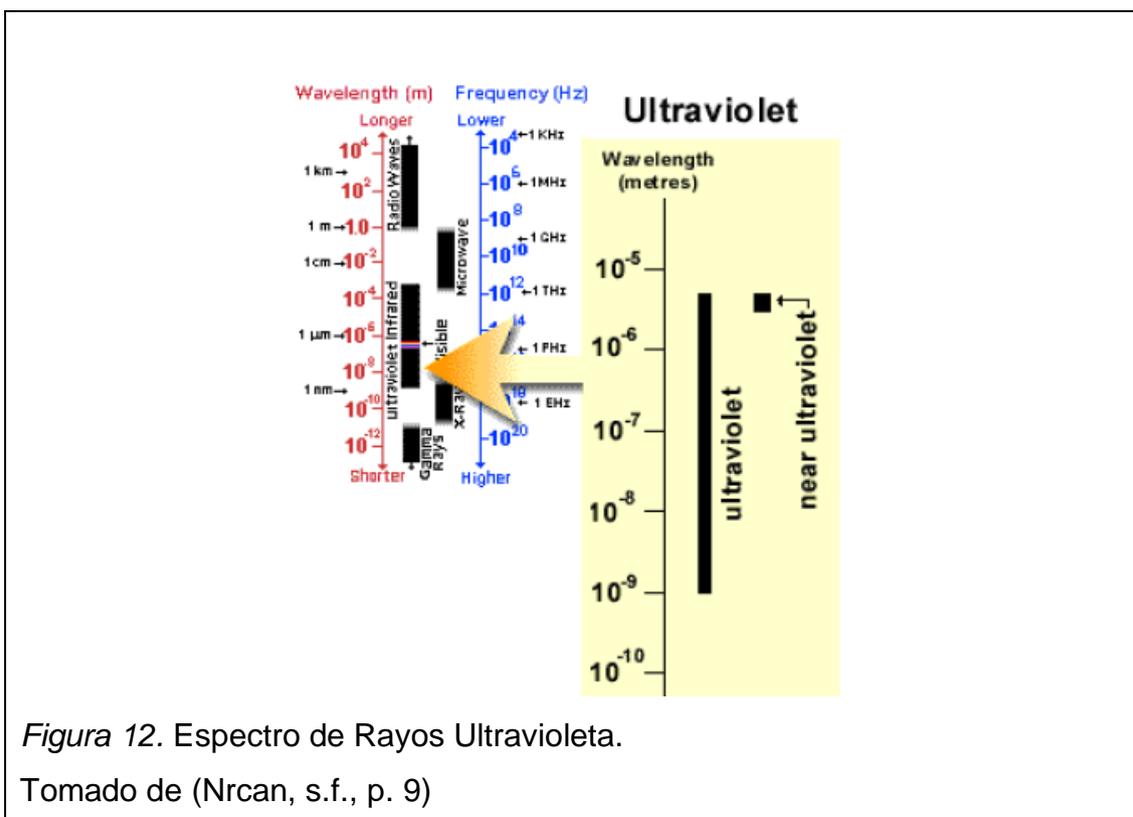


Figura 12. Espectro de Rayos Ultravioleta.

Tomado de (Nrcan, s.f., p. 9)

### 1.6.2. Luz Visible

El rango de longitud de onda para la luz visible es aproximadamente entre 0.4 a  $0.7 \mu\text{m}$ . La misma luz que el ser humano puede ver, sirve también para que sensores remotos la usen en instrumentos o plataformas y obtengan información. (Nrcan, s.f., p. 10).

Tabla 1. Colores primarios y secundarios del espectro de luz visible

Colores	Longitud de onda
Violeta	0.4 – 0.446 $\mu\text{m}$
Azul	0.446 – 0.5 $\mu\text{m}$
Verde	0.5 – 0.578 $\mu\text{m}$
Amarillo	0.578 – 0.592 $\mu\text{m}$
Naranja	0.592 – 0.620 $\mu\text{m}$
Rojo	0.620 – 0.7 $\mu\text{m}$

Tomado de (Canadian Centre for Remote Sensing, s.f., p. 10)

Nota: Los colores de la tabla se encuentran ordenados en función a la longitud de onda de menor a mayor.

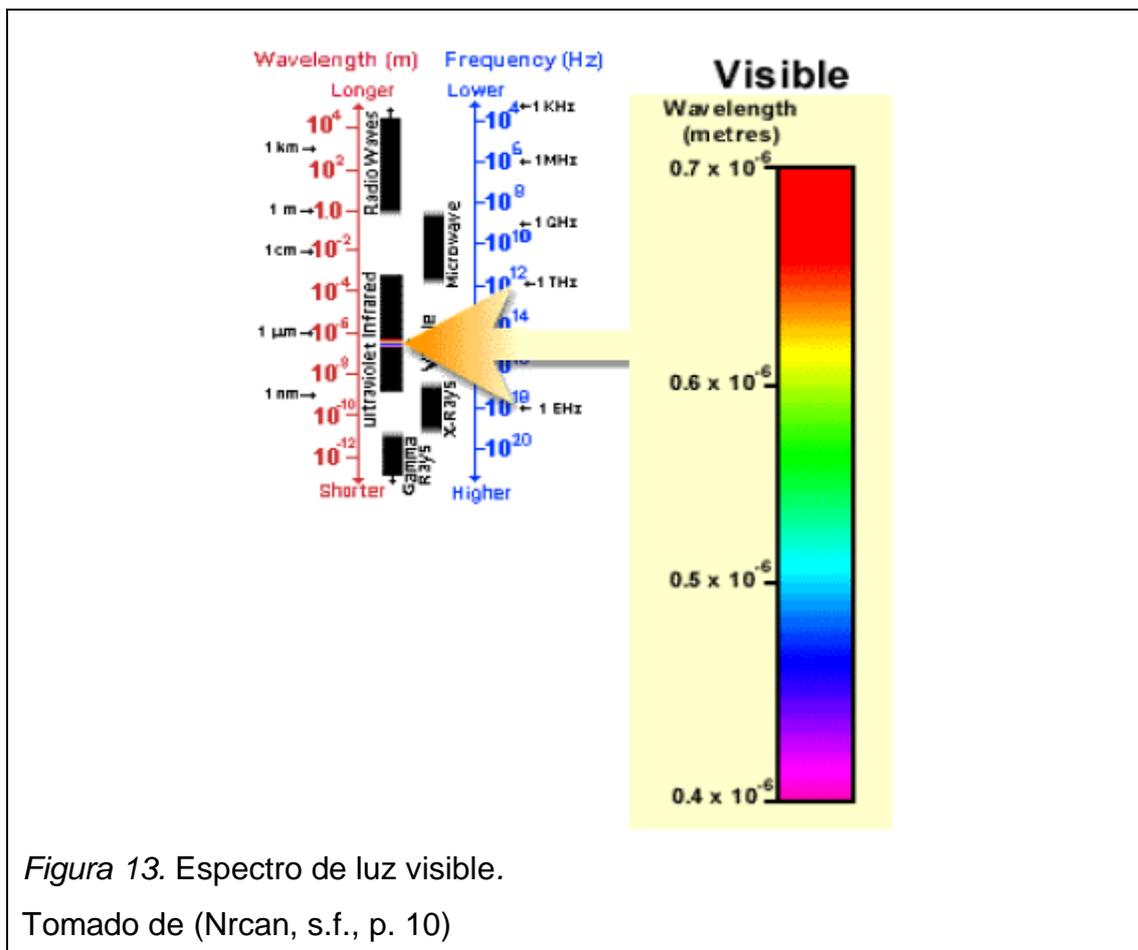


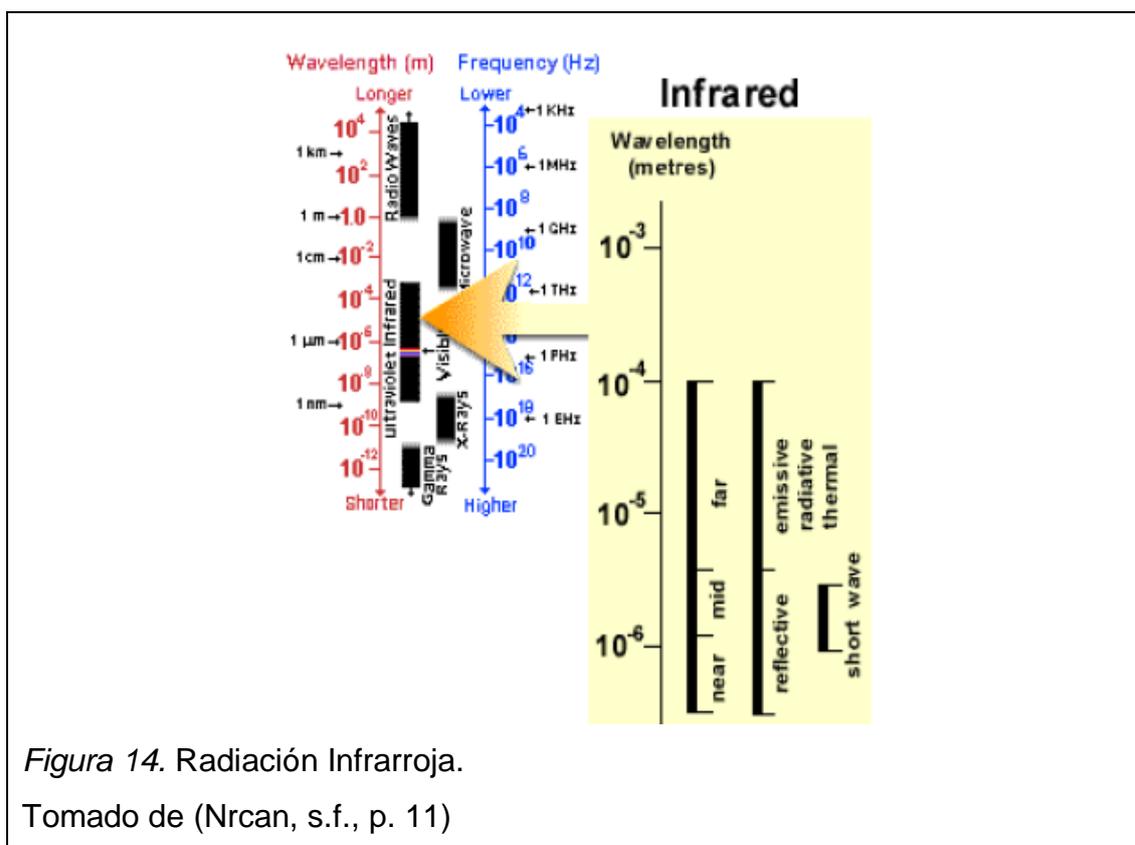
Figura 13. Espectro de luz visible.

Tomado de (Nrcan, s.f., p. 10)

### 1.6.3. Radiación Infrarroja

Esta porción de espectro cubre el rango de longitud de onda aproximadamente de  $0.7 \mu\text{m}$  a  $100 \mu\text{m}$ . y se divide en dos categorías basadas en sus propiedades de radiación: Radiación Infrarroja Reflejada y Radiación Infrarroja Termal.

Para percepción remota se usa la Radiación Infrarroja Reflejada debido a que es similar a la radiación de la luz visible ( $0.7 \mu\text{m}$  a  $3.0 \mu\text{m}$ ). (Nrcan, s.f., p. 11)



### 1.6.4. Microondas

Este tipo de radiación es también de interés para la teledetección y se encuentra con una longitud de onda entre  $1 \text{ mm}$  y  $1 \text{ m}$ , constituyéndose en la región más alta del espectro usada para percepción remota. (Nrcan, s.f., p. 11)

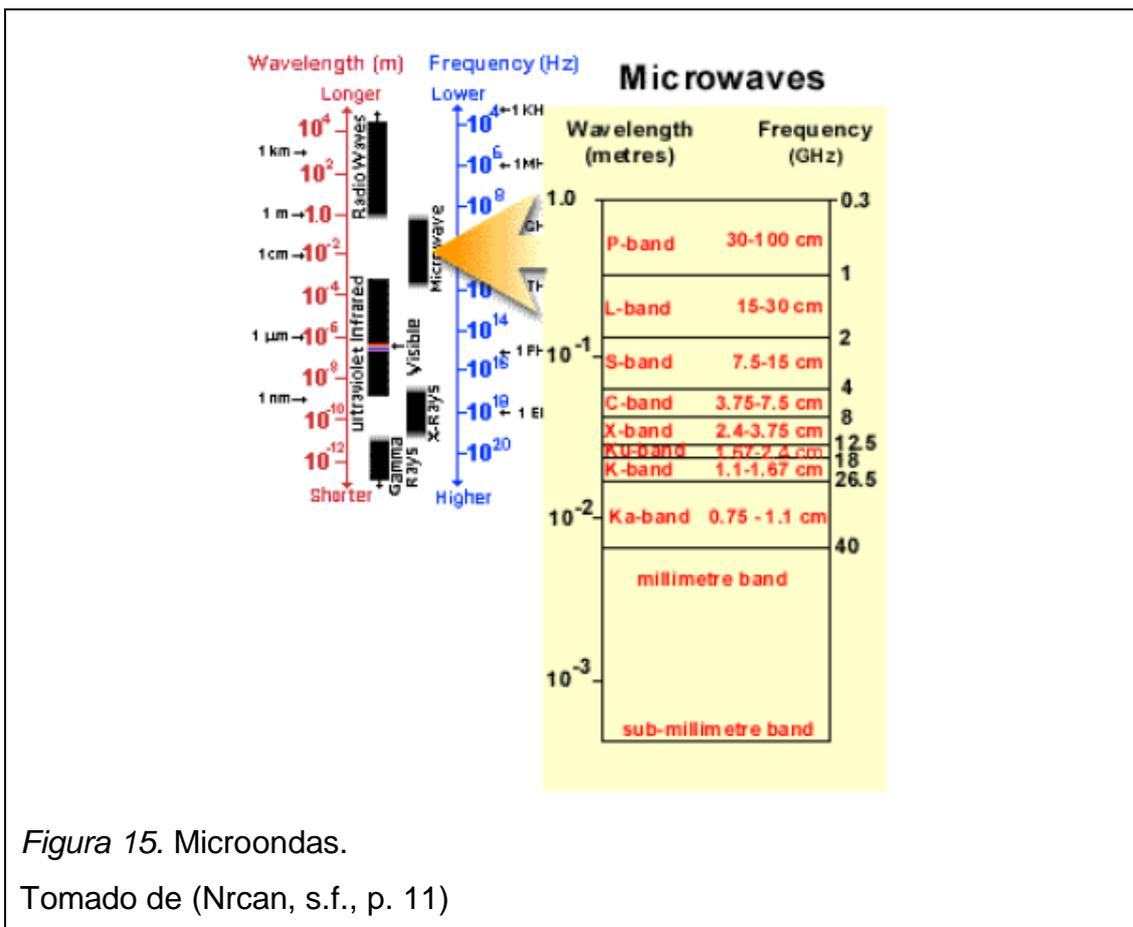


Figura 15. Microondas.

Tomado de (Nrcan, s.f., p. 11)

## 1.7. Interacción de la Radiación con la Atmósfera

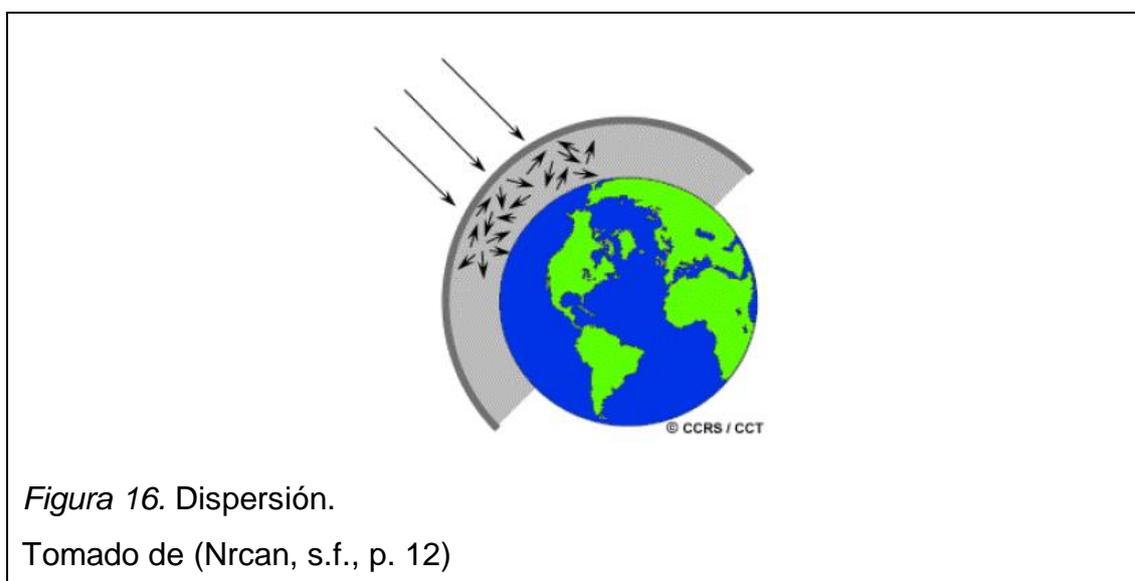
Se deben entender muchos conceptos antes de encaminarse a la percepción remota, por lo que se analizará el punto de interacción de la radiación con la atmósfera y sus consecuentes efectos. Antes de que la radiación tome contacto con el objeto, debe viajar una distancia a través de la atmósfera por lo que se ve afectada por partículas y gases; que provocan dispersión y absorción. (Nrcan, s.f., p. 11)

### 1.7.1. Dispersión

Es un fenómeno que ocurre cuando partículas o grandes moléculas de gas presentes en la atmósfera interactúan entre sí, provocando que las radiaciones electromagnéticas cambien su patrón original. Existen varios factores a los que

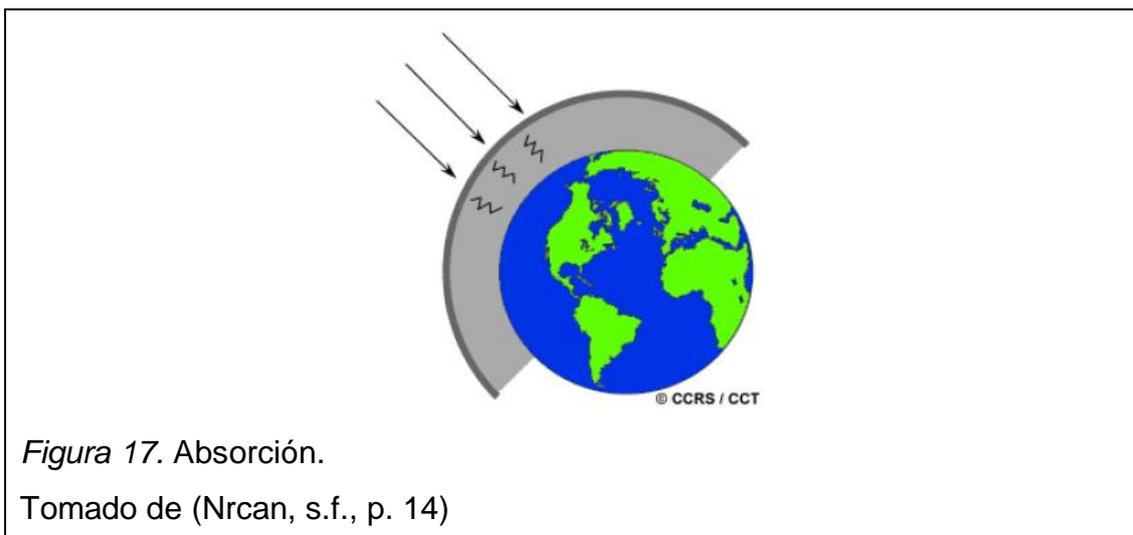
obedece este fenómeno, por ejemplo la longitud de onda de la radiación, la concentración de las partículas o gases y la distancia que la radiación viaja a través de la atmósfera. Existen tres tipos: la Dispersión de Rayleigh, la Dispersión de Mie y la Dispersión no Selectiva. (Nrcan, s.f., p. 11)

La Dispersión de Rayleigh se produce a causa de partículas con menores longitudes de onda que la radiación electromagnética afectada. En cambio, la Dispersión de Mie ocurre cuando las partículas en la atmósfera tienen la misma longitud de onda que la radiación. Y finalmente la Dispersión no Selectiva que ocurre cuando la longitud de onda de las partículas o gases en la atmósfera es mucho más grande que la de la radiación. (Nrcan, s.f., p. 11)

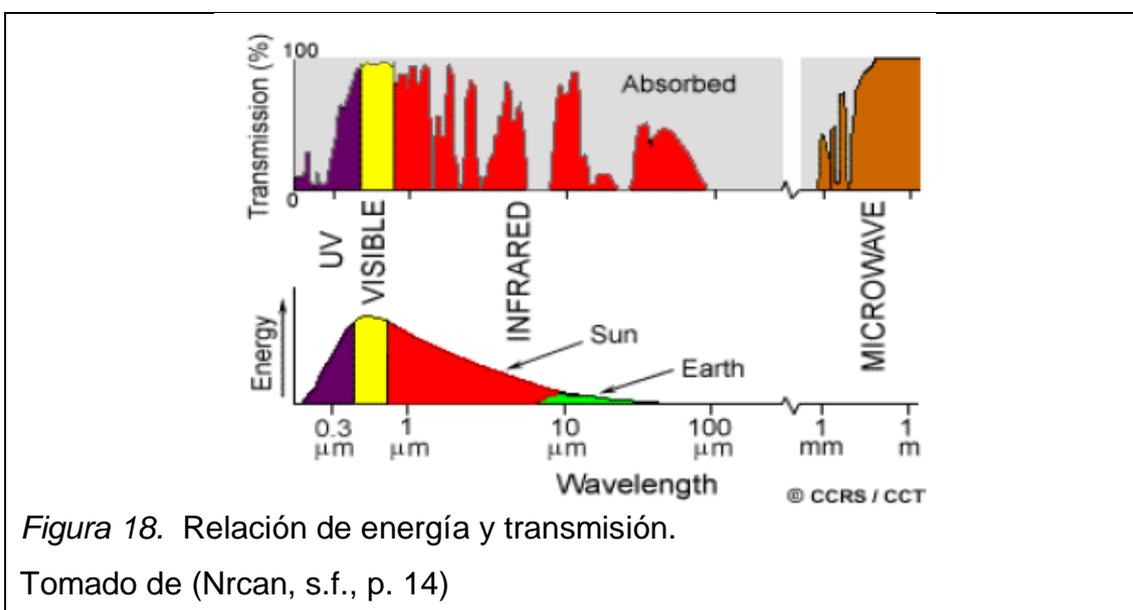


### 1.7.2. Absorción

Este fenómeno es contrario a la dispersión, pues provoca que las moléculas de la atmósfera absorban energía en varias longitudes de onda. Los tres principales elementos que absorben la radiación electromagnética son el ozono, el dióxido de carbono y el vapor de agua. (Nrcan, s.f., p. 14)



En razón a estos fenómenos, se han definido áreas del espectro electromagnético que son útiles para la operación de sensores remotos y se denominan ventanas atmosféricas. Entonces, las longitudes de onda disponibles, es decir, las que no son afectadas, se reducen a un espacio limitado como se muestra en la siguiente figura. (Nrcan, s.f., p. 14)



### 1.8. Radiación e Interacción con el Objetivo

Cuando la radiación producida por el sol atraviesa la superficie de la Tierra, una parte de dicha energía es capturada en específicas longitudes de onda y otra

parte es reflejada por el material de la superficie lo que le da el color a los objetos. La radiación que no es absorbida o dispersada en la atmósfera interactúa con la superficie de la Tierra pues las ondas inciden en un objetivo.

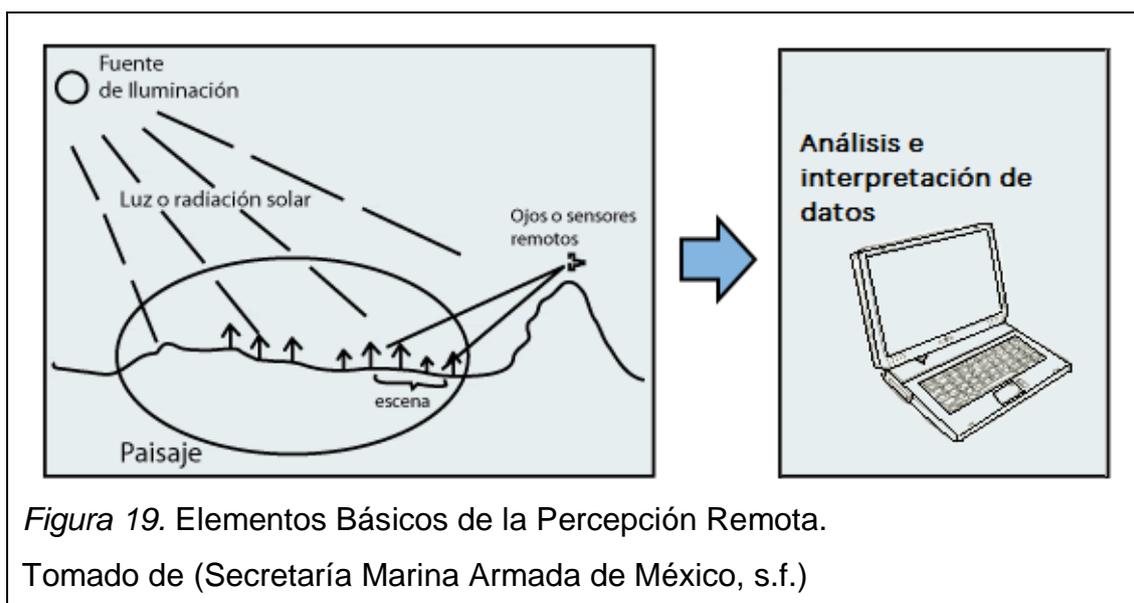
Es por esto que en teledetección, un sensor puede medir la radiación electromagnética que se refleja en los materiales de la superficie de la Tierra, permitiendo distinguir suelo, agua, vegetación, minerales, nieve, etc; pues tienen marcados patrones de reflexión y absorción en longitudes de onda. Existen dos casos en los que no sucede reflexión ni absorción: si la superficie de un cuerpo es un reflector perfecto y si es un cuerpo verdaderamente negro; ambos casos son muy raros. (Nrcan, s.f., p. 15)

### 1.9. Elementos de los Sistemas de Percepción Remota

Los sistemas de percepción remota involucran varios elementos que juegan un papel importante para determinar la calidad de la información obtenida. Según el sitio donde se encuentre el objeto a observar, se considerarán aspectos como escenarios, sensores, plataformas, sistemas de procesamiento de información, etc., mismos que se describen a continuación:

- **Fuente de energía.** Es el origen del flujo energético que es detectado por el sensor y este puede ser pasivo o activo.
- **Cubierta Terrestre.** Está compuesto por todos los elementos presentes en la Tierra, como vegetación, suelos, rocas, ríos, montañas, etc. donde se encuentra el objeto a ser observado.
- **Sistema Sensor.** Está formado por el sensor o conjunto de sensores que capturan la luz proveniente de la escena y permite obtener una representación visual. Puesto que los objetos reciben la señal procedente de la fuente de energía y la reflejan o emiten según sus características físicas.
- **La plataforma.** Estructura o vehículo donde se instalan los sensores para su uso en tierra, aire o espacio.

- **Sistema de procesamiento de la información recolectada.** Este análisis debe ser realizado de manera cualitativa y cuantitativa. De ser necesario se puede contar con apoyo de campo, que permite inspeccionar directamente la información. (Secretaría de Marina Armada de Mexico, s.f.)



*Figura 19. Elementos Básicos de la Percepción Remota.*

Tomado de (Secretaría Marina Armada de México, s.f.)

### 1.10. Sensores

Un sensor es un dispositivo que detecta y responde a un tipo de entrada del medio físico. Estos pueden ser luz, calor, movimiento, presión e incluso permite medir y registrar energía electromagnética para después transmitirla adecuadamente. El Institute for Human & Machine Cognition (s.f., p.2) define al sensor como un dispositivo capaz de detectar y señalar una condición de cambio, el cambio en mención, puede ser la presencia o ausencia de un objeto o material y la medición de distancias, tamaños o la determinación de colores. Los sensores permiten la interacción entre el mundo físico y los sistemas de medición o control (eléctricos y electrónicos).

### 1.10.1. Clasificación de los Sensores

De acuerdo al trabajo realizado por el Ingeniero Alberto Cortez (s.f., p. 1) sobre la clasificación de sensores: “Existe diversidad de sistemas de clasificación de sensores remotos. Los criterios empleados, en ningún caso, son excluyentes; esto significa que cualquier sensor estudiado, podrá ser incluido en todos los sistemas de clasificación. En general, es concordante el sistema de clasificación:”

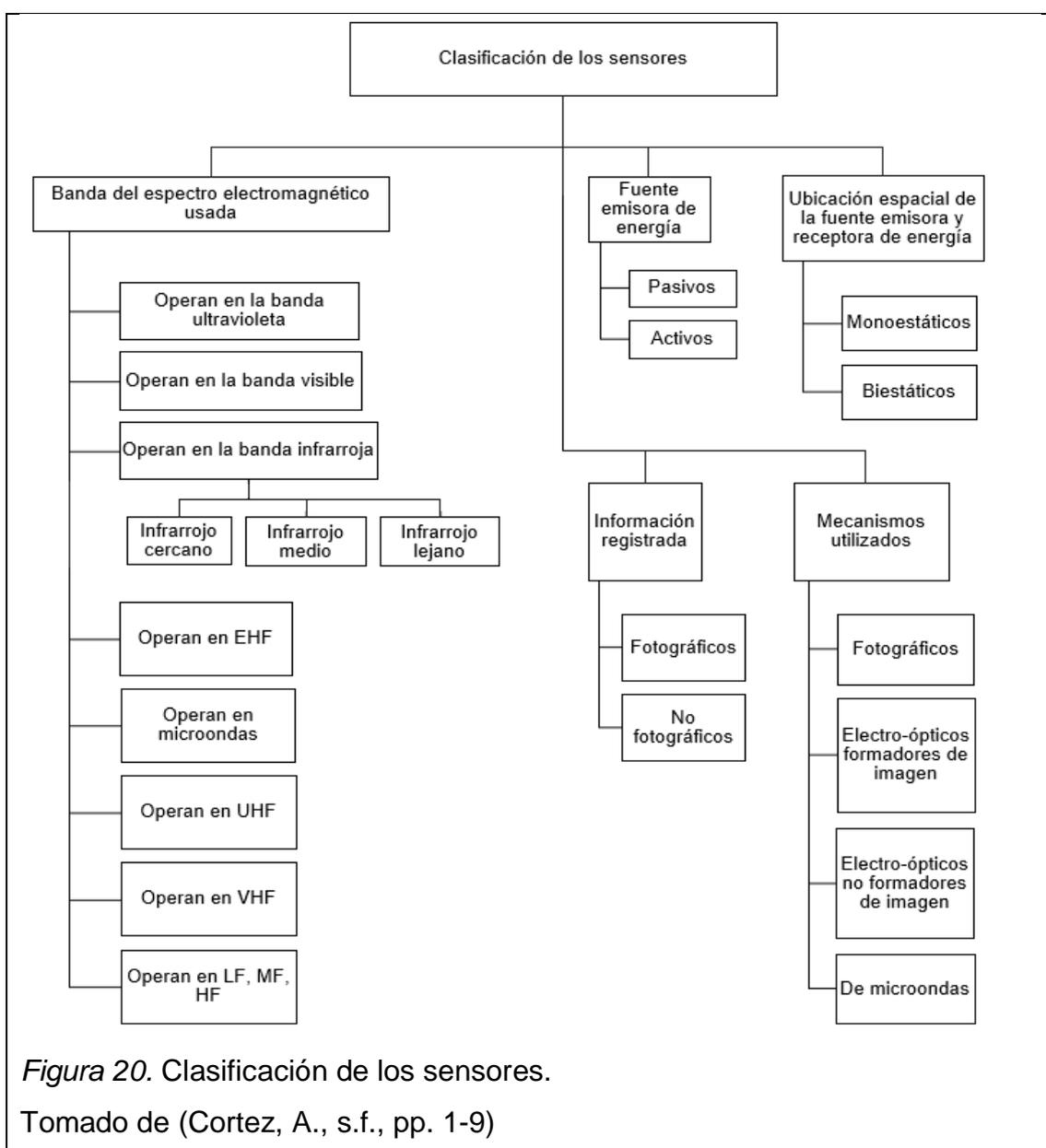


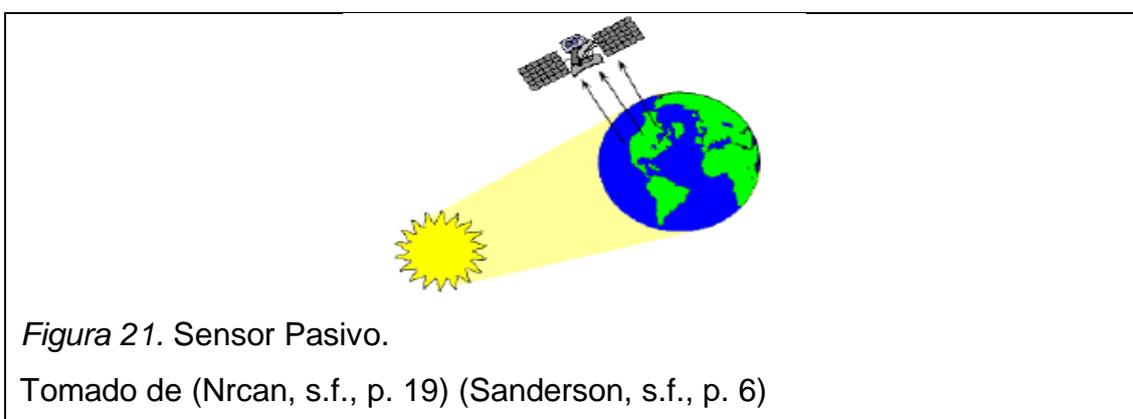
Figura 20. Clasificación de los sensores.

Tomado de (Cortez, A., s.f., pp. 1-9)

A continuación, se describirán sensores que son usados por lo general en teledetección y percepción remota.

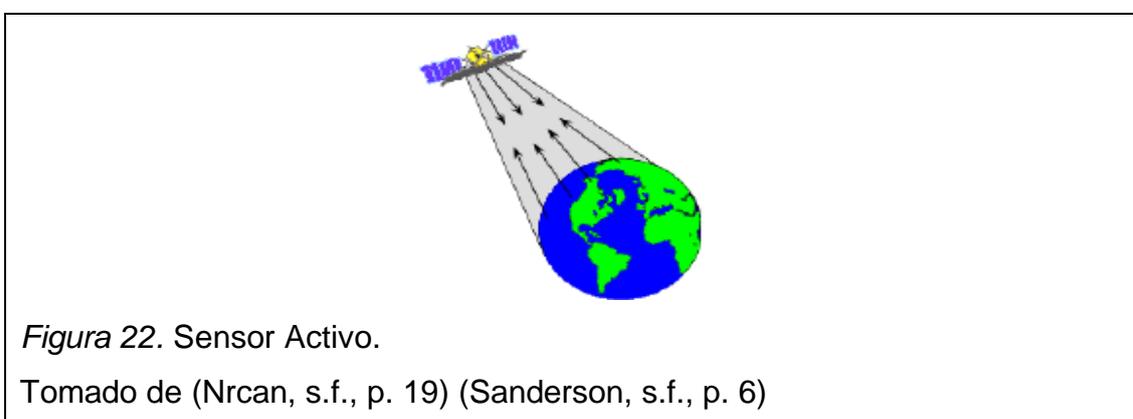
#### 1.10.1.1. Sensores Pasivos

Los denominados sensores pasivos dependen de una fuente externa como recurso de energía, que por lo general es el sol. Una cámara fotográfica es el sensor pasivo más común. (Nrcan, s.f., p. 19) (Sanderson, s.f., p. 6)



#### 1.10.1.2. Sensores Activos

Este tipo de sensores tiene su propio recurso de energía. Su funcionamiento radica en el envío de señales, pues mide la cantidad de señal reflejada. Los sensores activos están más controlados porque no depende de un recurso extra para variar las condiciones de iluminación. Un ejemplo de este tipo de sensor es la pistola de radar (velocidad). (Nrcan, s.f., p. 19) (Sanderson, s.f., p. 6)



### 1.10.1.3. Sensores electro-ópticos

Según Bethzabé Martínez (2012, p. 2) en el capítulo 4 de su trabajo de titulación, menciona que los “sensores electro-ópticos tienen la habilidad de modular la luz, es decir, modificar su intensidad. Para ello, podemos utilizar una señal de control de distintas naturalezas: temperatura, estrés mecánico, campo eléctrico, composiciones químicas cuya reacción modifica los índices de refracción, etc.”



Figura 23. Sistema electro-óptico compacto.

Tomado de (Argentinaforo, s.f.)

Tabla 2. Sensores electro-ópticos

Sensor	Características
Cámaras de luz de día	Son cámaras ópticas o de luz visible que operan en el rango de 0.4 y 0.7 $\mu\text{m}$ .
Cámaras de niveles bajos de luz	Estas cámaras deben ser alimentadas con un nivel amplificado de luz, por medio de lentes de cámara que concentran luz enviada por medio de fibra óptica.
Reproductores de imágenes termales	Las cámaras termales operan en el rango de 3 - 5 $\mu\text{m}$ y 7-15 $\mu\text{m}$ . La radiación es recibida por receptores que la convierte a un formato que se despliega en monitores monocromáticos reconocibles por el ojo humano. Tres pasos son necesarios: detección, reconocimiento e identificación.

Tomado de (Austin, R., 2010, pp. 128-130)

#### **1.10.1.4. Sensores de Microondas**

Todos los objetos emiten energía en cantidades pequeñas en el rango de las ondas microondas, los sensores captan y registran esa radiación con la cual se puede determinar la temperatura de un cuerpo. Los sensores de microondas captan la radiación que emite la atmósfera, la reflexión de la superficie, la emisión de la superficie y la energía transmitida desde el subsuelo. Estos sensores son conocidos por su baja resolución espacial. (Sobrino, Raissouni, Kerr, López-García, Belaid, El Kharraz, Cuenca, y Dempere, 2000, p. 38).

Esta banda incluye longitudes de onda comprendidas entre 0,3 a 330 cm. Por encima de los 13 GHz, la señal electromagnética es fuertemente atenuada por efecto de la absorción y dispersión producida por el vapor de agua, el oxígeno y la lluvia que se encuentran en la atmósfera. Es necesario utilizar las ventanas de transmisión disponibles para 35, 90, 140 y 225 GHz. Los instrumentos y equipos disponibles para esta banda de frecuencia súper alta son numerosos y muy avanzados los mismos que operan tanto de día como de noche.

Se incluye en este grupo los siguientes sensores remotos:

- Diversos equipos de radar (para detección de objetos o formación de imágenes)
- Radiómetros
- Espectrómetros (Cortez, A. s.f., p. 3)

##### **1.10.1.4.1. Radiómetros de microondas**

Se trata de sensores pasivos que registran la radiación electromagnética procedente de la superficie terrestre en el intervalo espectral de las microondas, aproximadamente entre 1 mm y 100 cm. La radiación de onda larga tiene propiedades espectrales en comparación con la radiación en el rango óptico, ya que no se ve afectada por la atenuación atmosférica y, en consecuencia, puede penetrar a través de las nubes, niebla, etc., excepto la lluvia de gran intensidad.

Por lo general, estos radiómetros operan en el rango espectral comprendido entre 1 mm y 30 cm.

Operan en modo no imagen, generando perfiles y también pueden trabajar en un sistema de barrido, perpendicular a la dirección de vuelo, entregando imágenes como aquellas que proporciona un radiómetro multiespectral de barrido. Sus aplicaciones involucran temas como meteorología, hidrología y oceanografía. (Sobrino et al., 2000, pp. 39-40).

#### **1.10.1.4.2. Altímetro Radar**

Este tipo de sensores envían pulsos de microondas a un objeto y miden el tiempo de vuelta de esta señal para determinar la distancia del objeto al sensor. Son usados en plataformas aéreas y en plataformas espaciales, en estas últimas se pueden realizar perfiles topográficos que son paralelos a la trayectoria del satélite. Por lo general se ubica verticalmente entre el observador (plataforma) y la tierra. (Sobrino et al., 2000, pp. 39-40).

### **1.11. Plataformas**

Las plataformas inciden directamente en la calidad de la información a obtener y en su interpretación. Para su selección se deben tomar en cuenta varios factores como el escenario, objeto, distancia, velocidad y sensores a utilizar. Se pueden clasificar en plataformas a cortas distancias y plataformas a grandes distancias. (González, Ruiz y Acosta, 2014, p. 53).

La percepción remota en ambientes acuáticos usa plataformas que, dependiendo de la distancia entre el sensor y el objetivo, pueden ser:

- **Barcos.** Este tipo de plataformas han realizado percepción remota por más de cincuenta años, junto con sonares y ecosondas. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2005)

- **Globos.** Tanto flotantes como anclados, funcionan de manera limitada para la percepción remota por su inestabilidad y baja velocidad. Pero han permitido tener fotografías de cuerpos como bahías y lagos. (FAO, 2005)
- **Aviones y helicópteros.** “Los aviones han sido utilizados extensivamente como plataformas de percepción remota para el mapeo de tierras y costas, estudios oceanográficos y para la detección de cardúmenes de peces”. (FAO, 2005)
- **Satélites.** Facilitan el monitoreo de toda la superficie de la tierra en función a su ubicación y área de cobertura. Cuando son usados para percepción remota, por lo general son satélites no tripulados. No obstante, existen satélites tripulados que han permitido obtener información. (FAO, 2005)

La percepción remota en la tierra usa las mismas plataformas a excepción de barcos, boyas y vehículos submarinos. Pero, además existen los vehículos aéreos no tripulados (UAV).

#### 1.11.1. RPV

RPV es el acrónimo de *Remotely Piloted Vehicle*. Es un vehículo aéreo controlado a distancia por medio de un enlace de comunicación establecido entre la aeronave y un piloto en tierra, pero no tiene la habilidad de realizar vuelos autónomos por medio de un piloto automático. Se suele conocer también como dron, pero el término ha sido desplazado por UAV.

#### 1.11.2. Dron

De acuerdo a una publicación de la página web Uavdach (s.f.), un dron es una aeronave pilotada por control remoto. Así se llamaba tradicionalmente a algunas de estas aeronaves de uso militar. En la actualidad se ha extendido este nombre a todas las aeronaves pilotadas por control remoto, tanto militares como civiles.

Sin embargo, una aeronave pilotada por control remoto técnicamente se considera dron cuando tienen un uso comercial o profesional. Cuando el uso de estas aeronaves tiene exclusivamente un fin deportivo o de recreo, son consideradas Aeromodelos, y se rigen bajo la normativa de éstos. (Uavdach, s.f.).

### 1.11.3. Vehículo Aéreo no Tripulado – UAV

Un UAV es una plataforma de vuelo no tripulada que puede ser controlada desde tierra por medio de un enlace remoto o puede realizar vuelos autónomos en base a planes de vuelos previamente programados. Este vehículo es considerado reusable y en la actualidad se lo emplea en múltiples aplicaciones civiles y militares; pues es capaz de mantener un nivel de vuelo sostenido y controlado. (Quispe, 2015, p. 16).

#### 1.11.3.1. Clasificación de los UAV

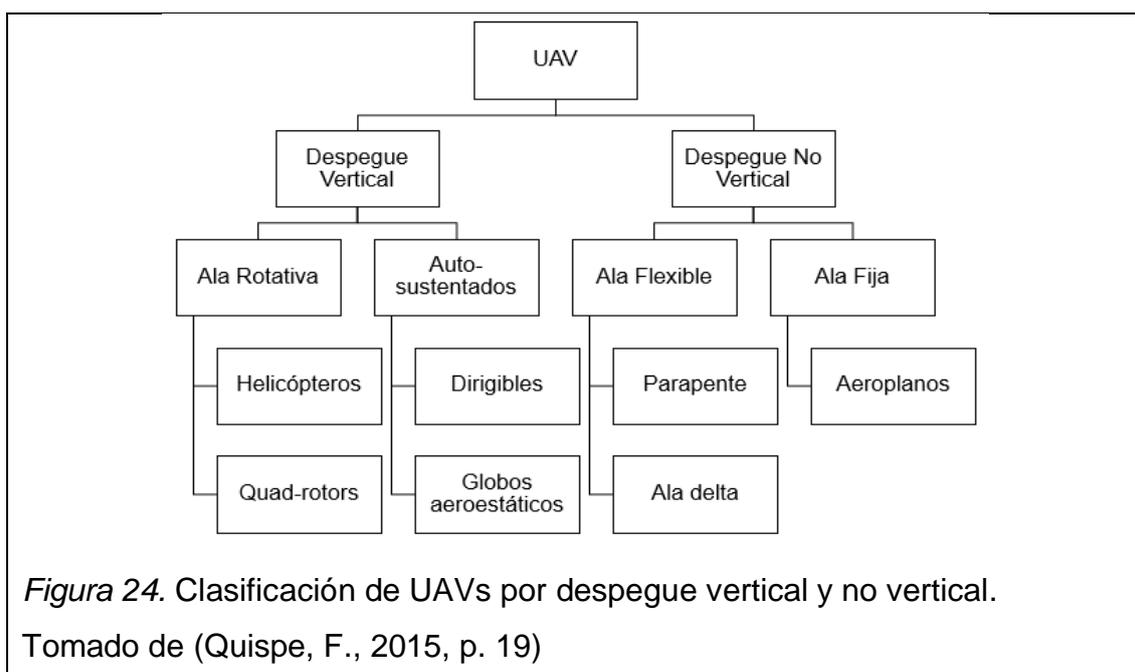
Según Flavio Quispe (2015, pp. 16-19) en su tesis, los UAV se clasifican:

- Según su misión:
  - **Blanco.** Se utilizan para simular aviones o ataques enemigos en los sistemas de defensa de tierra o aire
  - **Reconocimiento.** Envían información militar. Entre estos se destacan los MUAV (*Micro Unmanned Aerial Vehicle*) del tipo avión o helicóptero.
  - **Combate (UCAV).** Combaten y llevan a cabo misiones que suelen ser muy peligrosas.
  - **Logística.** Diseñados para llevar carga.
  - **Investigación y desarrollo.** Se los emplea para realizar pruebas de sistemas en desarrollo.
  - **UAV comerciales y civiles.** Son diseñados para propósitos comunes, como por ejemplo filmar películas (entretenimiento).

- Según su techo y alcance máximo:
  - **Handheld:** unos 2000 pies de altitud, 600 metros y unos 2 km de alcance en vuelo.
  - **Close:** unos 5000 pies de altitud, 3000 metros y hasta 10 km de alcance.
  - **Nato:** unos 10 000 pies de altitud, hasta 50 km de alcance.
  - **Tactical:** unos 18 000 pies de altitud, hasta 160 km de alcance
  - **MALE:** hasta 30 000 pies de altitud y un alcance de unos 200 km
  - **HALE:** sobre 30 000 pies de techo y alcance indeterminado
  - **HYPERSONIC** alta velocidad, supersónico: unos 50 000 pies de altitud o altitud suborbital, alcance de 200km.
  - **ORBITAL:** en órbitas bajas terrestres (Mach 25+)
  - **CIS Lunar:** viaja entre la Luna y la Tierra
  
- Según su tamaño:
  - **Grandes:** UH60 “*drone*”, QF-16, UA-10 etc, *Boeing 720*
  - **Medianos:** MC-12, *Reaper*, X-47,
  - **Pequeños:** Boeing X-50, SIVA
  - **Micro UAV:** Mosquito, *Monocopter*
  
- Según su motor:
  - **Alternativo:** SIVA, RQ-11 *Raven*
  - **Turbinas:** (turbofanos, turbohélices, turboejes, etc)
  - **Eléctricos (solares, pila de combustible, pila de hidrógeno):** *Ion tiger*, NASA *Helios*.
  
- Según la forma de despegue:
  - **Desde una pista:** MC-12, *Reaper*, *Dominator (unmanned DA-42)*,
  - **Lanzado con catapulta u otros medios mecánicos:** SIVA
  - **Lanzados a mano:** RQ-11 *Raven*.

- Según el tipo de control:
  - **Autónomo y Adaptativo:** El UAV está totalmente gobernado por sus sistemas a bordo, sin intervención del operador en tierra. El UAV tiene la capacidad de re planificar su vuelo en función de los cambios producidos en su entorno. Además, puede interactuar con otros UAVs (de su tipo o no) – toma decisiones solo.
  - **Monitorizado:** Este tipo trabaja de forma autónoma. Un operador controla la retroalimentación del UAV, puede tomar decisiones por él, pero no puede controlarlo (no controla sus mandos).
  - **Supervisado:** El UAV realiza unas pocas operaciones de forma autónoma. El control recae, en su gran mayoría, sobre el operador.
  - **Autónomo-no adaptativo (o pre programado):** El UAV obedece a una rutina pre-programada, y no tiene la capacidad de cambiar esa rutina para adaptarla a los cambios externos.
  - **Mando directo por un operador (R/C):** El UAV responde directamente a los mandos de un operador.

En adición, los UAVs se clasifican como se muestra en la siguiente figura. Esta clasificación es considerada como la principal y más usada.



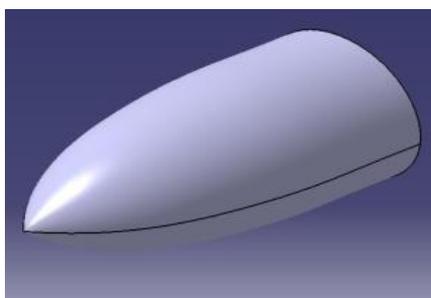
*Figura 24.* Clasificación de UAVs por despegue vertical y no vertical.

Tomado de (Quispe, F., 2015, p. 19)

### 1.11.3.2. Estructura de un UAV

#### 1.11.3.2.1. Ojiva

Constituye la porción delantera del fuselaje de la aeronave, por lo general, es donde se encuentran los equipos de guiado y radiofrecuencia. Su nombre se debe a su forma, pues es un arco ojival; y además brinda facilidad en el proceso de su fabricación y una baja resistencia. (De La Parra, s.f.).

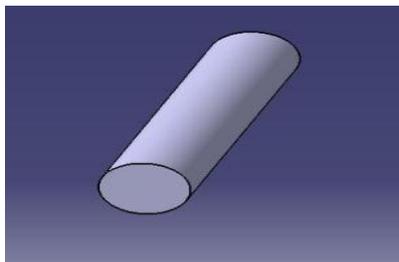


*Figura 25.* Ojiva de un UAV.

Tomado de (De La Parra, s.f.)

#### 1.11.3.2.2. Fuselaje

Es la fracción ubicada a continuación de la ojiva, esta permite unir a todas las partes de la aeronave. Por lo general tiene forma cilíndrica, aunque, dependiendo de la resistencia que produce y de su objetivo, se puede dar otras formas. Aquí se colocan el depósito de combustible, equipos electrónicos, algunos sensores. (De La Parra, s.f.).



*Figura 26.* Fuselaje.

Tomado de (De La Parra, s.f.)

### 1.11.3.2.3. Ala

Se constituye como la parte principal del avión, de ella depende la sustentación y el equilibrio de la aeronave en el aire. Comúnmente, se le asigna una forma aerodinámica, misma que es conocida como perfil aerodinámico (aumenta su capacidad de sustentación). (De La Parra, s.f.).

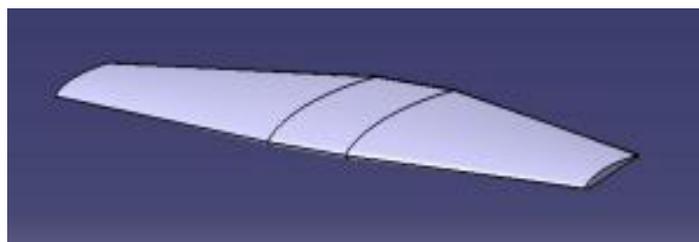


Figura 27. Ala.

Tomado de (De La Parra, s.f.)

### 1.11.3.2.4. Cola

Además del ala, la cola es uno de los elementos primordiales de un UAV pues permite controlar sus giros y contribuye a su estabilidad. En la mayoría de aviones, la cola tiene una estructura estándar y está formada por un estabilizador vertical y dos estabilizadores en T invertida, pero existen otros tipos de cola que se muestran en la siguiente figura. (De La Parra, s.f.) (Asifunciona, s.f.)

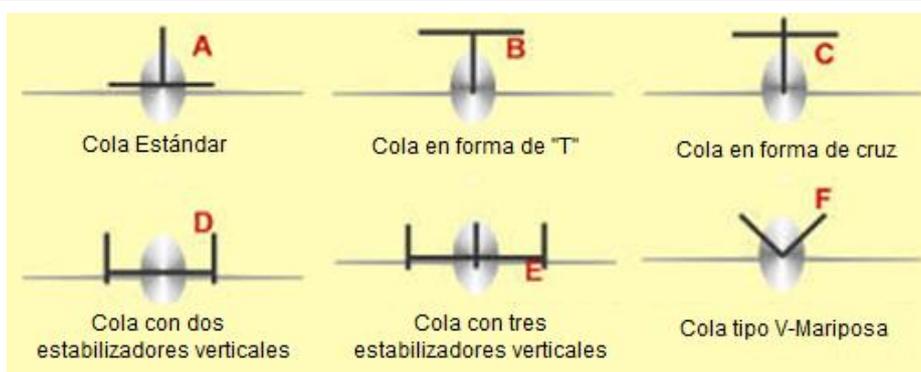
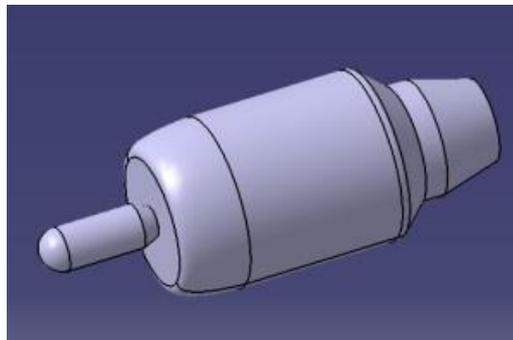


Figura 28. Cola.

Tomado de (Asifunciona, s.f.)

#### 1.11.3.2.5. Motor

El motor permite ejercer una fuerza propulsiva en la aeronave que será mayor o menor dependiendo de la capacidad del mismo. Durante el diseño de la aeronave, se debe procurar que el aire llegue adecuadamente a la entrada del motor, y así mismo los gases generados tengan una salida que no incida sobre ninguna parte del UAV. El motor en sí genera una resistencia, que debe ser considerada en el total de la resistencia del avión. Para ello, usualmente se lo coloca dentro de una góndola que debe tener una forma aerodinámica. (De La Parra, s.f.).



*Figura 29.* Motor cubierto en una góndola.

Tomado de (De La Parra, s.f.)

“Los motores pueden ser clasificados de la siguiente manera: de pistón (explosión) o de reacción (turbina). Este último, a su vez se divide en turbo jet, turboventilador y turbohélice” (Asifunciona, s.f.).

#### 1.11.3.2.6. Control de vuelo

El control de vuelo es, sin duda, un factor importante a considerar durante el diseño de un UAV. Pues este es quien permite controlar la aeronave para su despegue, vuelo y aterrizaje. Existen dos maneras de controlar el vuelo: piloto automático y control manual. El primero sigue una ruta configurada en el avión antes del despegue, esta compara el punto de trayectoria (altura, velocidad y posición) con la posición actual; con el fin de asegurarse el cumplimiento del plan

de vuelo. En cambio, el control manual permite que el piloto controle desde tierra su comportamiento de vuelo y puede cambiar su ruta en cualquier momento. (De la Parra, s.f.).

## 1.12. UAS

UAS es el acrónimo de *Unmanned Aircraft System*. Es un sistema que involucra subsistemas que permiten controlar un UAV. Los subsistemas incluyen: el control por medio de personal capacitado para monitorear la aeronave, las comunicaciones entre el UAV y la estación en tierra, el piloto automático, la aerodinámica, la resistencia de materiales, el diseño de la aeronave, la electrónica y la aviónica; por nombrar algunos. Todo esto con el fin de proveer un servicio en cualquier ámbito como agricultura, minería, seguridad y más. (Austin, 2010, p. 3).

### 1.12.1. Aplicaciones de UAS

Los sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAV) pueden ser usados en varias áreas como seguridad, medio ambiente, salud, plagas, entre otros. Para su mejor entendimiento se separarán en usos civiles y militares.

Tabla 3. Áreas de uso civil

Áreas de uso civil	
Fotografía aérea	Video, fotogramas, fotografías, etc.
Agricultura	Monitoreo de sembríos, monitoreo y conducción de manadas de animales, etc.
Guardacostas	Búsqueda y rescate.
Conservación	Contaminación y monitoreo de tierras.
Aduanas e impuestos especiales	Vigilancia de importaciones ilegales.
Compañías eléctricas	Inspección de líneas eléctricas.
Servicios de bomberos y reforestación	Detección de incendios.

<b>Áreas de uso civil</b>	
Pesca	Control de pesca incidente, protección de recursos ictiológicos.
Compañías de gas y suministro de combustibles	Topografía y seguridad de oleoductos.
Servicios de información	Noticias y fotografías, características y fotos de vida animal, etc.
Instituciones de botes salvavidas	Investigación de incidentes, guía y control.
Autoridades locales	Encuestas, control de desastres.
Servicios meteorológicos	Muestreo y análisis de la atmósfera para predicción del clima.
Agencias de tránsito	Monitoreo y control de tránsito.
Compañías petroleras	Seguridad de oleoductos.
Ordenamiento territorial	Fotografía aérea para mapeo.
Policía	Búsqueda de personas perdidas, seguridad y vigilancia de incidentes.
Hidrología	Monitoreo del curso y nivel de ríos e inundaciones y control de contaminación.
Organizaciones de investigación	Geografía, geología y arqueología.
Alcantarillado	Monitoreo de reservorios y tuberías.

Tomado de (Austin, R., 2010, pp. 1-2)

Tabla 4. Áreas de uso militar

<b>Áreas de uso militar</b>	
Marina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguimiento a flotas enemigas.</li> <li>• Señuelo de misiles mediante la emisión de señales artificiales.</li> <li>• Inteligencia electrónica.</li> <li>• Retransmisión de señales de radio.</li> <li>• Protección de puertos costa afuera.</li> <li>• Ubicación y monitoreo de sonares.</li> </ul>

<b>Áreas de uso militar</b>	
Fuerzas Armadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconocimiento y vigilancia de actividad enemiga.</li> <li>• Seguimiento de contaminación química, nuclear o biológica.</li> <li>• Inteligencia electrónica.</li> <li>• Monitoreo y asignación de blancos.</li> <li>• Ubicación y destrucción de minas terrestres.</li> </ul>
Fuerza Aérea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilancia de largo alcance y gran altitud.</li> <li>• Sistemas de radar, interferencia y destrucción.</li> <li>• Inteligencia electrónica.</li> <li>• Seguridad basada en el campo aéreo.</li> <li>• Evaluación del riesgo en el campo aéreo.</li> <li>• Eliminación de bombas sin explotar.</li> </ul>

Tomado de (Austin, R., 2010, pp. 1-2)

### 1.12.2. Composición del Sistema UAS

Según Reg Austin (2010, pp. 9-30) cada subsistema que conforma un UAS debe ser considerado con la misma importancia, estos subsistemas se muestran en la siguiente figura:

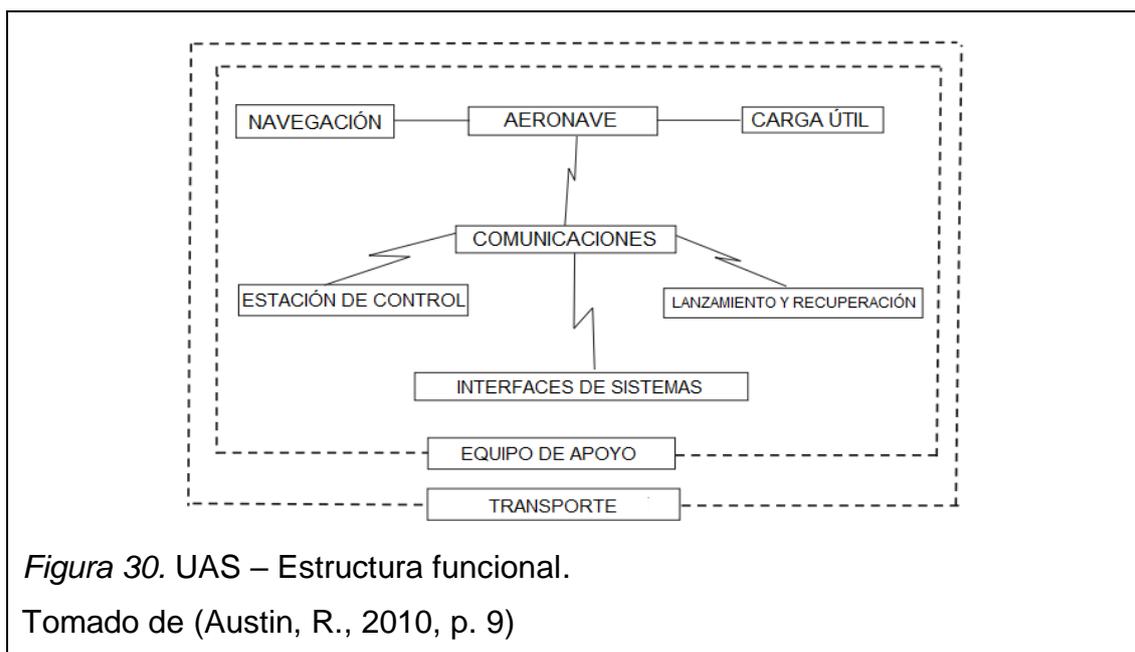


Figura 30. UAS – Estructura funcional.

Tomado de (Austin, R., 2010, p. 9)

### 1.12.2.1. Estación de control

Es el centro donde la misión de un UAV es planeada, por lo que se la conoce como estación de planeo y control de misión. Desde este punto, los operadores controlan el perfil de vuelo y el tipo de carga útil de acuerdo al objetivo de la misión o plan de vuelo. La estación de control recibe la información capturada por los sensores remotos a bordo de la aeronave e información del estado del UAV y los subsistemas. (Austin, 2010, pp. 9-10).

### 1.12.2.2. Carga útil

La carga útil depende exclusivamente del propósito del proyecto. Algunos UAVs pueden llevar combinaciones de sensores que incluyen módulos de carga útil, con el fin de suplir la energía necesaria para su correcto funcionamiento. Por ejemplo, cámaras de video, cámaras termales y sistemas de radares juntos. La información obtenida por estos sistemas es procesada de manera que puedan ser transmitidos por medio de un enlace de bajada (*Downlink*) a una estación de control.

El término carga útil, en la aviación antigua, era usado para describir el peso que era capaz de llevar un avión y muchas veces, este peso era pagado por el usuario. Mientras que en operaciones civiles, la carga útil incluía fluidos, sus tanques de almacenamiento, bombeo y distribución. Actualmente, la carga útil involucra el peso de los instrumentos necesarios para llevar a cabo la misión, sensores remotos y sistemas de comunicación; misma que debe ser soportada por el UAV.

Es importante mencionar que la carga útil es propia de cada misión, obviamente puede ser combinada para su uso con otros sensores, pero debe asegurar que la aeronave sea capaz de satisfacer las necesidades energéticas para la correcta operación de los instrumentos, puesto que nuevas misiones demandan nuevas

cargas útiles. Además, la carga útil puede ser desarrollada más rápidamente que una aeronave. (Austin, 2010, p. 10).

#### **1.12.2.3. Vehículo aéreo**

El tipo de UAV a usar es determinado principalmente por las necesidades operativas de la misión. La función primordial de este elemento es llevar la carga útil necesaria para capturar y transmitir información; además de los subsistemas necesarios para su funcionamiento como el enlace de comunicación, estabilización, equipo de control, suministros de electricidad y combustibles y la estructura del UAV. Otros factores determinantes son el rango de operación, velocidad y resistencia. (Austin, 2010, p. 10).

#### **1.12.2.4. Sistema de Navegación**

Es imperante que los operadores conozcan la ubicación exacta de la aeronave en cualquier momento, incluso si se trata de un vuelo realizado con piloto automático. El GPS (*Global Positioning System*) permite una actualización continua de la posición del UAV y además es extremadamente ligero, compacto y barato, lo que ha permitido simplificar la navegación, pues antiguamente se debía contar con radio seguimiento o reconocimiento de características geográficas que eran complicados, caros y pesados. (Austin, 2010, pp. 11-12).

#### **1.12.2.5. Lanzamiento y Recuperación**

El equipo de lanzamiento o despegue es necesario en UAVs que no tengan la capacidad de vuelo vertical (ver 1.11.3.1. Clasificación de los UAV) o no dispongan de una pista de aterrizaje lo suficientemente larga. Es un despegue similar al que realiza un avión conducido por un piloto, donde debe alcanzar una velocidad relativa a la que se puede sostener la aeronave en el aire. El equipo de recuperación es requerido por un UAV de vuelo no vertical, a menos que cuente con un tren de aterrizaje que le permita aterrizar sobre un terreno. Este

por lo general consta de un paracaídas instalado en el UAV, que ayuda a reducir la altura entre el suelo y la aeronave en vuelo; para realizar un aterrizaje correcto. (Austin, 2010, p. 12).

### 1.12.2.6. Comunicaciones

Uno de los factores más importantes dentro de un UAS es el sistema de comunicación para proveer los enlaces de datos, tanto de subida como de bajada entre el UAV y la estación de control. La transmisión, por lo general, es a través de radio frecuencia; pero puede ser realizada en forma de luz como un haz de luz o por fibra óptica. El nivel de energía eléctrica, diseño de la antena, peso y costo del radio enlace puede ser determinado por el rango de operación entre el UAV y la estación de transmisión, por el tipo de información a ser transmitida y la seguridad necesaria. Las tareas que usualmente realizan los enlaces de datos se resumen en la siguiente figura: (Austin, 2010, pp. 12-13).

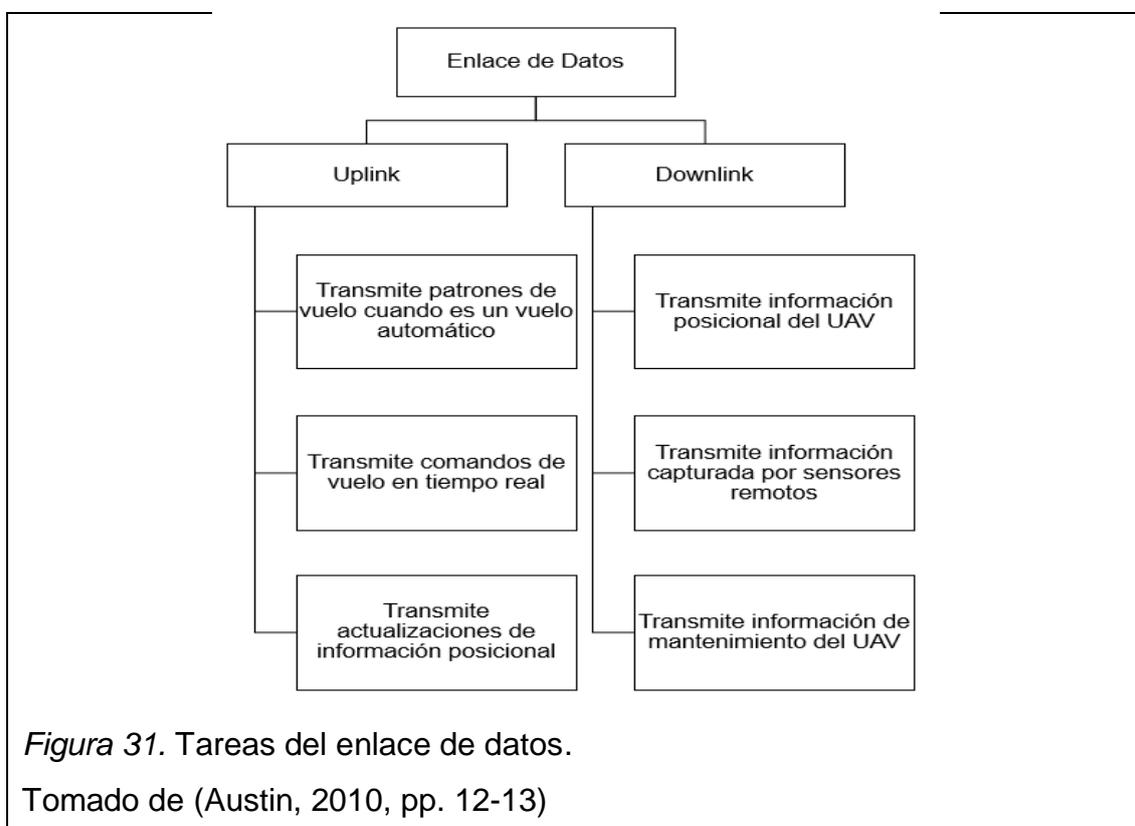


Figura 31. Tareas del enlace de datos.

Tomado de (Austin, 2010, pp. 12-13)

### 1.12.2.7. Interfaces de sistemas

Todos los elementos que forman un UAV incluyendo los subsistemas de operación trabajan juntos para lograr un desarrollo apropiado del UAS. No obstante, pueden existir sistemas autónomos que se vinculen a los sistemas propios del UAV. Por ejemplo, a pesar de que el subsistema de radio comunicaciones forma una interfaz entre la estación de control y el vehículo aéreo, los elementos en ambas partes deben operar usando los mismos protocolos y cada interfaz con sus respectivos subsistemas de manera compatible.

Sin embargo, un UAS puede operar con otros UAS similares o diferentes, creando así un sistema de sistemas. (Austin, 2010, pp. 13-14).

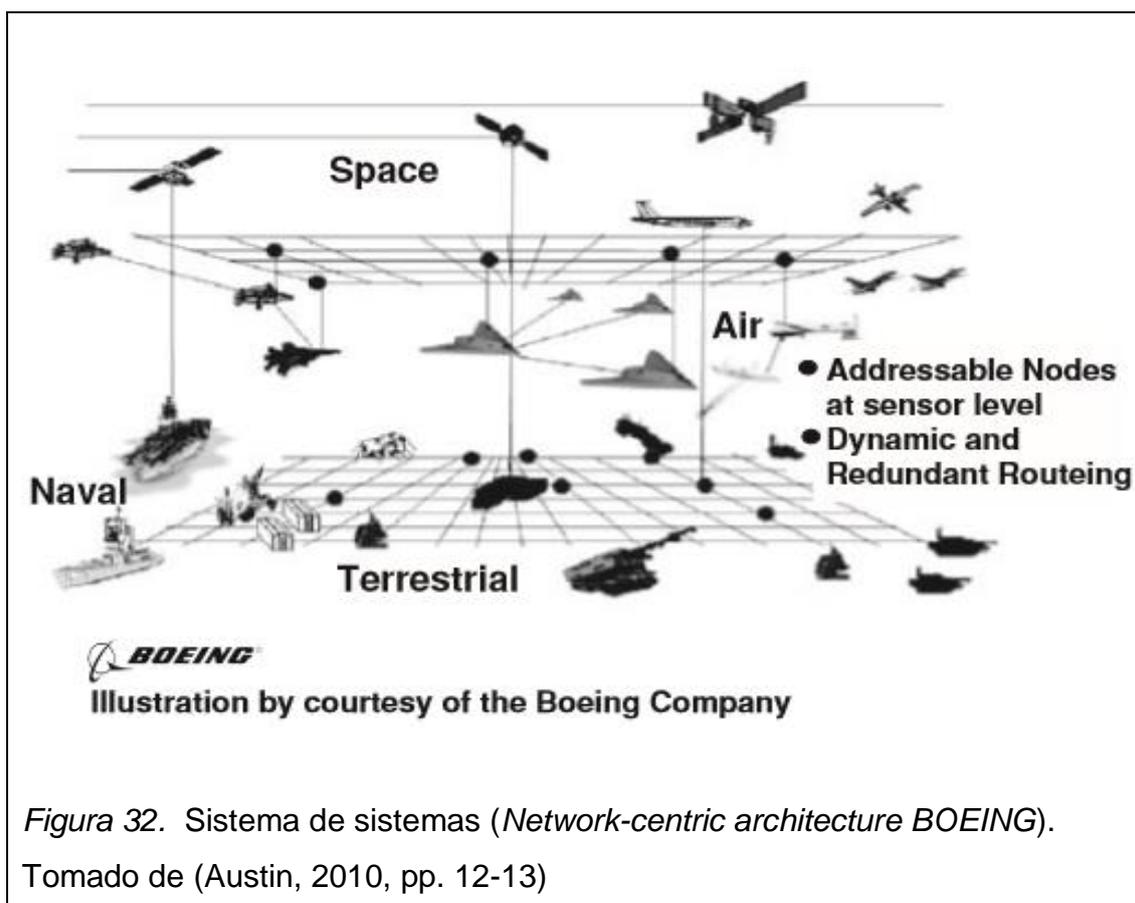


Figura 32. Sistema de sistemas (Network-centric architecture BOEING).

Tomado de (Austin, 2010, pp. 12-13)

#### **1.12.2.8. Equipo de Soporte**

Este equipo es un área que puede ser a menudo subestimado cuando un UAS es desarrollado. Este incluye desde manuales de operación y mantenimiento, hasta herramientas y repuestos para equipos de pruebas especiales y fuentes de alimentación. (Austin, 2010, p. 14).

#### **1.12.2.9. Transporte**

Siempre que un UAV necesite movilización o transporte, sus subsistemas también deberán ser considerados. Entonces, es importante que se recurra a un vehículo que se adapte al diseño del sistema de UAV; en algunos casos se tendrá que desmantelar y re ensamblar la aeronave y sus subsistemas, pero en todo caso se debe salvaguardar la integridad del equipo. (Austin, 2010, p. 14).

## 2. Capítulo II Sistemas de Percepción Remota desarrollados en el Ecuador

Los conocimientos científicos y técnicos han permitido que los sistemas de percepción remota en el Ecuador se conviertan en un eje transversal para mejorar la calidad de vida y economía de sus habitantes, también permiten planear, diseñar y construir bienes y servicios; generando una cultura de investigación y desarrollo en beneficio de la sociedad.

### 2.1. Historia

El Ecuador ha incursionado en la percepción remota indirectamente desde 1957 cuando el Gobierno de los Estados Unidos de América instaló en las faldas del volcán Cotopaxi la estación de rastreo de satélites llamada Mini Track, cuyo objetivo fue controlar y dar seguimiento a satélites norteamericanos. Posteriormente, se crea como Organismo de Derecho Público, al Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN) en diciembre de 1977, otorgándole personería jurídica y autonomía técnico-administrativa; siendo su propósito el recabar información de los recursos naturales del Ecuador, el uso que se les pueda dar, el manejo apropiado de los mismos y su conservación. En 1982, Ecuador decide participar directamente y se encarga del mantenimiento de las instalaciones y equipos dejados por *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) al terminar su proyecto en 1981. (Exa, s.f.)

Por otro lado, en 1980 la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL) consigue un acuerdo con el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), denominado convenio ESPOL - ORSTOM que duró cuatro años. Este acuerdo benefició al departamento de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleo de la ESPOL y a la Unidad de Investigación de la ORSTOM. El objetivo primordial de esta colaboración fue estudiar el ensamblaje estratigráfico

y estructural del bloque costero ecuatoriano para la prospección minera y petrolera. (Navarrete, comunicación personal, 2015)

En 1989, el CLIRSEN se transformó en estación receptora, grabadora y procesadora de datos satelitales, lo que permitió contar con la información necesaria para estudios y proyectos de recursos naturales y ambientales. Seguidamente, en 1982 se da la segunda cooperación ESPOL-ORSTOM, donde se crea la unidad de procesamiento de imágenes (*hardware y software*) y Sistemas de Información Geográfica en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la ESPOL. El proyecto también promovió la capacitación de personal de la Universidad de manera científica y técnica en teledetección y procesamiento de imágenes. El trabajo que se realiza en este laboratorio es de tratamiento de imágenes que son compradas a estaciones receptoras de información satelital, pues no es una estación receptora de imágenes satelitales. (Navarrete, comunicación personal, 2015)

El Ecuador tomó la responsabilidad de usar la percepción remota satelital como un medio para mejorar la movilidad humana con material cartográfico donde se describen datos sobre hidrografía, orografía y climatología. (Navarrete, comunicación personal, 2015). Pero, a medida que el tiempo transcurre la tecnología genera más campos de investigación y simplifica el uso de material gigantesco, además de brindar más opciones para obtener el mismo tipo de información. En razón a esto, el país ha incursionado en el uso de UAVs y drones para capturar información de percepción remota, refiriéndose a temas de agricultura de precisión, catastros, medio ambiente, gestión de riesgo, vigilancia (seguridad), minería y en el campo militar para defensa de la integridad del país, vigilancia de áreas y recursos estratégicos, patrulla de fronteras y control de narcotráfico, entre otras áreas. (Jaramillo, 2014)

En el año de 1994 se creó el Departamento de Ingeniería Aeronáutica en el Centro de Mantenimiento de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) en Latacunga como entidad para solventar problemas técnico-operacionales de la flota de

aviones militares de la FAE. Posteriormente, el 4 de mayo de 1998 se creó el Centro de Investigación y Desarrollo (CID) con secciones de trabajo en Aerodinámica, Estructuras, Materiales Compuestos, Propulsión, Adquisición de Datos, Telemática, Dispositivos Electrónicos, Control, Guiado y Navegación. En 2004 el CID pasó a formar parte de la Dirección de la Industria Aeronáutica (DIAF) y lo denominaron CID-DIAF. A partir de ese nombramiento, se encargaba del mantenimiento y repotenciación de aeronaves militares, siendo el centro operativo de la DIAF; pero en 2009 se cambió el nombre al de Centro de Ingeniería y Mantenimiento de Aviación Militar (CINAM). (Fuerza Aérea Ecuatoriana [FAE], s.f.).

Paralelamente, la FAE en 2008 plantea el Proyecto de la Plataforma de Gran Altitud con un propósito de investigación tecnológica con el cofinanciamiento de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENESCYT). Y en razón a ello, el 1 de enero de 2009 se crea el orgánico del CIDFAE con aprobación de la FAE, cuyo trabajo sería realizar proyectos de tipo aeronáutico y aeroespacial orientados al desarrollo del Ecuador. Para que la nueva entidad tenga las facilidades de infraestructura aeronáutica y el espacio necesario para pruebas, se le asignaron las instalaciones del Aeropuerto de Chachoán en Ambato. (FAE, s.f.).

Actualmente, el CIDFAE es considerado como un centro de desarrollo tecnológico importante en el país, pues tiene la capacidad de plantear, desarrollar y culminar proyectos exitosos con características orientadas al mejoramiento de la capacidad de defensa en el ámbito militar. (FAE, s.f.)

Por otro lado, el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA) se creó el 8 de noviembre de 1999 como una Institución de Educación Superior con acuerdo Ministerial N° 3237, reconocido por el CONESUP mediante registro N° 05-003 con fecha 22 de septiembre de 2000; siendo la única Escuela de Técnicos en Mantenimiento Aeronáutico, con el aval de la Dirección General de Aviación Civil con habilitación RDAC parte 147. (FAE, s.f.).

El 4 de agosto de 2010 la Asamblea Nacional del Ecuador aprobó la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) y remitió a la Presidencia de la Republica para su análisis y veto. Para el 3 de septiembre de 2010, la presidencia objeta la LOES parcialmente y de acuerdo a la Transitoria Vigésima Segunda el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico pasa a formar parte de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. El 13 de enero de 2014 se aprueba la creación de la Unidad de Gestión de Tecnologías – UGT, por parte del Honorable Consejo Universitario Provisional de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, s.f.)

Por otro lado, en el ámbito comercial, se encuentra la compañía Aeroseed que se creó mediante la sociedad de dos pilotos y un ingeniero aeronáutico. Esta empresa se dedica al expendio de UAVs y drones según su aplicación, prestación y venta de servicios que entrega al usuario final la información capturada, para que posteriormente sea sometida al análisis correspondiente. El objetivo de la empresa es usar las aeronaves en monitoreo y seguimiento de actividades mineras, forestales, catastros, gestión de riesgos, vigilancia y agricultura de precisión. El Ingeniero Julio Ullauri en la entrevista cedida el 7 de diciembre de 2015, comenta que dependiendo de las necesidades y del uso que se le quiera dar, se puede instalar una cámara de alta definición de video y fotografía, una cámara multiespectral, una cámara infrarroja o una cámara térmica sobre el UAV, pues es una aeronave multipropósito.

Después de una breve descripción de la investigación realizada a las entidades que se han dedicado al trabajo de percepción remota en el Ecuador, tomando en cuenta la apertura de los mismos para prestar información, se procederá al análisis de los proyectos realizados. Se debe mencionar que se han tomado proyectos que involucran plataformas como UAVs, drones y plataformas de gran altitud con sensores remotos.

## 2.2. Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana

### 2.2.1. Proyecto “Rayo” RPV Cotopaxi

El CIDFAE desarrolló desde 1997 un proyecto sobre la planificación y elaboración de un RPV denominado RPV Cotopaxi como requerimiento de las Fuerzas Armadas (FFAA), para lo que fue necesario formar un grupo de personal capacitado para cumplir con el objetivo del proyecto, también se consideraron temas de costos, ventajas de plataformas, usos y áreas de rastreo y conocimiento. El fin del proyecto era desarrollar y crear tecnología de punta que permita tener una ventaja operativa en la aviación remotamente tripulada (UAV y RPV). (Armas y Narváez, 2006, p. 21)



El RPV Cotopaxi tiene las siguientes características técnicas y operacionales:

Tabla 5. Características técnicas y operativas

Características	
Wing Spam	4.4 m
Largo	3.72 m
Velocidad crucero	90 nudos

Características		
Autonomía	7 horas	5 horas
Carga útil	60 libras	60 libras
Motor (Meggit WAE 342)	26 hp	38 hp
Techo operacional	15000 pies	
Despegue	300 pies	
Aterrizaje	350 pies	

Tomado de (Armas y Narváez, 2006, p. 21)



*Figura 34.* RPV Cotopaxi.

Tomado de (Dronesdelsur, s.f.)

Las misiones llevadas a cabo con el RPV Cotopaxi fueron de entrenamiento y vuelos de prueba para el equipo y los operadores. Entre las principales se pueden citar las siguientes:

- Misiones de Enlace – Comunicaciones.
- Enlace Piloto Interno – Piloto Externo.
- Trimado de aeronaves.
- Controles de vuelo a baja y alta altura.
- Control de aterrizaje y despegue.

### 2.2.2. Proyecto PGA

El 10 de julio de 2008 el CIDFAE inició el proyecto: diseño y construcción de un prototipo de Plataforma de Gran Altitud (PGA), que es considerado como pionero en el desarrollo aeroespacial del país. La PGA surgió básicamente como un desarrollo de investigación científica a cargo de la FAE con el cofinanciamiento de la SENESCYT, la colaboración de personal científico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (Jaramillo, 2009)

Este proyecto fue creado para cumplir el objetivo de brindar servicios de televisión, internet y telefonía a zonas donde los servicios en mención no llegan por fácil acceso. Es por esto que involucra varias disciplinas entre las que se mencionan: aeronáutica, instrumentación en aviónica, control automático de vuelo, mecánica de materiales, factores ambientales, atmósfera, telecomunicaciones, electrónica (sensores) y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). (Jaramillo, 2009)



*Figura 35.* Plataforma de Gran Altitud.

Tomado de (Jaramillo, 2009)

Como punto de partida del proyecto se realizó una investigación del medio atmosférico en el que la plataforma operaría. Desde el nivel de la tropósfera se tomaron valores que llegaban en tiempo real a una estación en tierra de las

condiciones existentes hasta el límite de la estratósfera; para ello se enviaron 60 sondas equipadas con sensores de humedad, presión, temperatura, velocidad, dirección del viento y posición. (Jaramillo, 2009)

La figura 36 muestra el sondeo realizado el 14 de mayo de 2008 sobre la base aérea Cotopaxi en la ciudad de Latacunga:

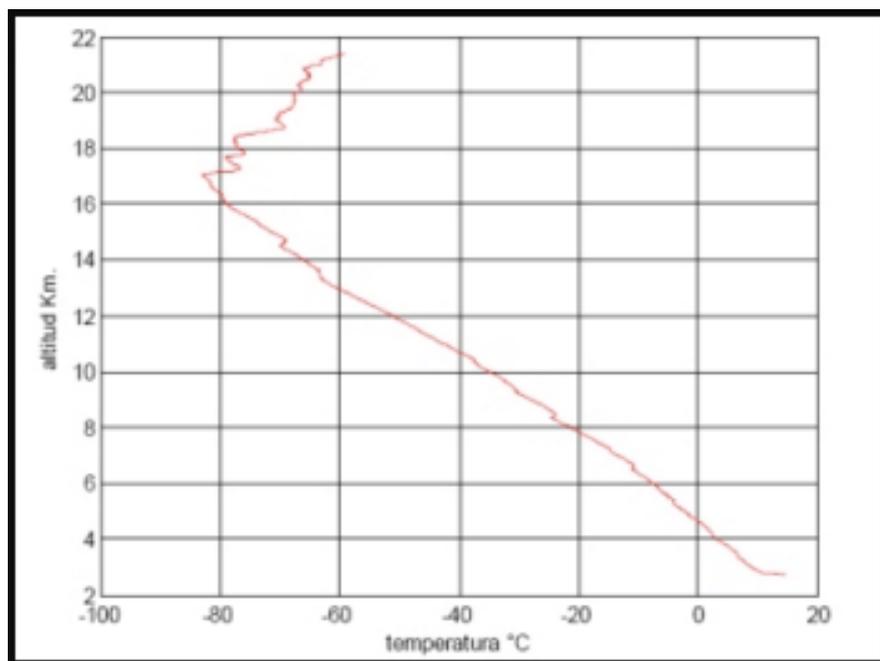


Figura 36. Radio sondeo realizado el 14 de mayo de 2008 en la Base Aérea Cotopaxi.

Tomado de (Jaramillo, 2009)

- a) Nota: A 17 km de altitud, la temperatura es de  $-80^{\circ}\text{C}$ ; siendo considerada como condición climática hostil.

Para el diseño de la plataforma se consideraron factores que aseguren condiciones de estabilidad durante el tiempo que se encuentre en el aire y un menor efecto de arrastre, por lo que se planteó el diseño de forma elipsoidal, más conocido como “gota de agua”. Bajo esta premisa, se inició la construcción de los primeros prototipos dentro del proyecto PGA. (Jaramillo, 2009)

Un sistema controlado por un computador se encargaba del vuelo, control, navegación y guiado de la plataforma, éste administraba los parámetros mencionados en función a la información obtenida por los sensores a bordo y además constaba de un plan de vuelo previamente cargado en la memoria; pero, de ser necesario, se podían realizar modificaciones desde tierra.

La alimentación de la plataforma fue considerada uno de los parámetros más importantes, pues debía ser un sistema eficiente pero con un peso reducido. Es por eso que se implementó un sistema de captación de energía fotovoltaica que permitía recargar los bancos de baterías durante el vuelo con el fin de aumentar el tiempo de operación de la PGA. (Jaramillo, 2009)

### **2.2.3. Proyecto UAV**

El Proyecto UAV surge como continuación y mejoramiento del Proyecto RPV Cotopaxi. El principal objetivo es desarrollar una aeronave que sea capaz de volar de manera automática, que permita una carga útil considerablemente buena, y tiempos de autonomía altos. Para conseguirlo, fue necesario crear prototipos con los que se pudieran probar los equipos implementados y así mismo, a manera de entrenamiento, sirvieran para perfeccionar al personal que opera y controla las aeronaves desde una estación terrena. (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.) Es así que surgen tres UAVs:

- UAV-0: Aeronave de prueba y demostración
- UAV-1: FÉNIX
- UAV-2: GAVILÁN (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

#### **2.2.3.1. UAV-0: Aeronave de prueba y demostración**

El UAV-0 fue desarrollado para pruebas y demostraciones, constituyendo la primera fase del proyecto UAV del CIDFAE. La aeronave puede ser controlada por un *shelter* (vehículo terrestre para controlar la aeronave) con tres consolas

en tierra o en su defecto, cumplir rutas trazadas con un piloto automático previamente programado. Como una propiedad que le añade valor, este UAV puede transmitir video en tiempo real y cuenta con las siguientes características técnicas y operativas: (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Tabla 6. Características UAV 0

Características	
Alas	4.4 metros
Peso	15 Kg
Velocidad crucero	140 Km/h
Vuelo estático	6 horas
Autonomía	7 horas
Carga útil	Entre 2 – 10 Kg
Techo operacional	15000 pies de altura

Tomado de (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

En septiembre de 2012 el UAV-0 despegó en el Aeropuerto de Chachoán para cumplir una misión de 20 minutos en el aire, bajo la premisa de que a los 300 metros de altura se ejecutaría la ruta programada en el piloto automático. La prueba se la realizó con el fin de constatar que el UAV-0 es capaz de conseguir un despegue, vuelo y aterrizaje autónomos. (FAE, s.f.)



Figura 37. UAV-0 Aeronave de prueba y demostración.

Tomado de (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

### 2.2.3.2. UAV-1: FÉNIX

El UAV-1 se ha denominado Fénix y forma parte del proyecto UAV del CIDFAE, destinado para la vigilancia y control en áreas críticas, zonas de desastres, temas ambientales, soberanía energética y agricultura. Para su desarrollo se realizaron estudios de alcance con el fin de determinar las misiones que pueda llevar a cabo. Según la publicación realizada por el sitio web cazas y helicópteros (s.f.): El UAV-1 realizó pruebas en el aeropuerto Jumandy en Napo, mismas que fueron base para misiones en las cuales va a ser usado. Esta aeronave cumple con las siguientes características técnicas y operacionales:

Tabla 7. Características UAV-1: FÉNIX

Características	
Alas	5.5 metros
Velocidad crucero	140 Km/h
Vuelo estático	6 horas
Autonomía	7 horas
Carga útil	Entre 2 – 10 Kg
Techo operacional	15000 pies de altura

Tomado de (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)



Figura 38. UAV – 1 Fénix.

Tomado de (Cazasyhelicópteros, s.f.)

### 2.2.3.3. UAV-2: GAVILÁN

El UAV-2: Gavilán es el prototipo final del proyecto DOOCR acrónimo de Detección, Observación, Comunicación y Reconocimiento; que anteriormente era conocido como Proyecto UAV. Este es la continuación del UAV-1 Fénix y recoge todas las mejoras que se pudieron haber encontrado durante el proceso de elaboración y pruebas de los prototipos que lo preceden. Posee capacidades de aterrizaje, despegue y vuelo automático. (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Además, permite la transmisión de datos en tiempo real, por medio de una cámara de video constituida por un sistema electro-óptico. Además, este UAV se encuentra comunicado con una estación de mando y control en tierra. Está destinado a cumplir funciones dentro del área de defensa a través de misiones de vigilancia y reconocimiento, proporcionando así, datos de recursos estratégicos, monitoreo ambiental y apoyo en gestión de riesgos. (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Leandro Quintana (2014) en su publicación: “El Gavilán a Distancia”, menciona que “dentro de la esfera civil, el UAV-2 se pudiese utilizar para vigilancia de áreas urbanas, rurales, remotas y fronterizas; control de fauna silvestre y ganadería; servicios geológicos y una amplia gama de actividades variadas.”

En la tabla 8 se muestran características técnicas y operativas del UAV-2: Gavilán: (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Tabla 8. Características UAV-2: Gavilán

Características	
Alas	6.5 metros
Velocidad crucero	100 Km/h
Rango	150 Km
Autonomía	5 horas

Características	
Peso total	300 libras
Techo operacional	15000 pies de altura

Tomado de (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Una característica especial de este UAV, además de ser automático en despegue, vuelo y aterrizaje, es que permite el control y variación de parámetros de vuelo durante la ejecución de la misión. Esto es realizado desde una plataforma móvil (*shelter*), que tiene tres módulos de operadores con una interfaz intuitiva y amigable con el usuario, desarrollada por personal del CIDFAE. (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Asimismo, este UAV cuenta con un motor de dos tiempos a gasolina que le permite tener autonomía de siete horas. Después de varios años de pruebas y construcción de prototipos anteriores, se ha determinado que el coste operativo de los mismos es mucho menor que el de los aviones tripulados. (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)



Figura 39. UAV-2: Gavilán.

Tomado de (Aeromundomag, s.f.)

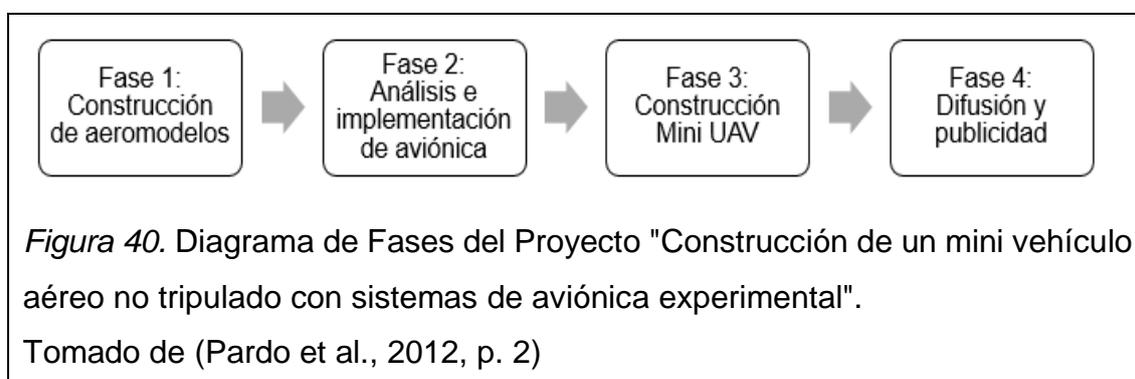
## 2.3. Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

### 2.3.1. Proyecto de Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental

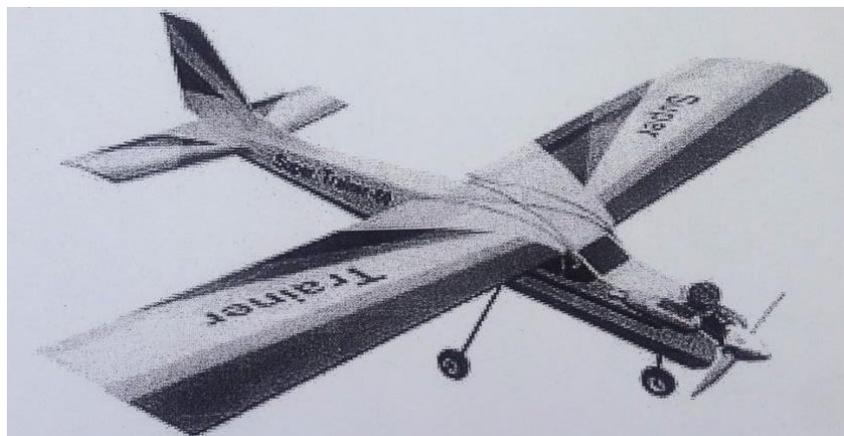
El 2 de septiembre de 2011 en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, actual Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el Departamento de Investigación presentó el Proyecto de Innovación Tecnológica “Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental” con el fin de ser revisado y aprobado por el Rectorado.

El proyecto forma parte del Departamento de Investigación, por lo que se debió señalar a que línea de investigación pertenece, siendo la respuesta: sistemas eléctricos y electrónicos, TIC, aerodinámica, estructura de aeronaves e instrumentación (aviónica). Se esperaba que sus beneficiarios inmediatos fuesen los docentes y estudiantes de las carreras de Electrónica, Telemática y Mecánica del extinto ITSA.

El proyecto propuesto se dividió en cuatro fases que permitan cumplir con el objetivo planteado para el proyecto: “Diseñar y construir un mini vehículo aéreo no tripulado para experimentación con equipos aviónicos”; en la figura 40 se muestra un diagrama con el desarrollo de las fases:



Dentro de la primera y segunda fase, se llevaron a cabo actividades como analizar y definir aplicaciones, determinar la carga útil, adquirir equipamiento, partes y piezas; una vez que se contó con lo necesario, se procedió a realizar la armadura que incluye fuselaje, alas y cola. Posteriormente, el punto de enfoque fue el motor y el sistema de propulsión; el sistema de navegación y guiado, así como el de comunicaciones. Dentro del proyecto se señalan procesos de diseño de aeromodelos, incluyendo sus planos y los materiales a usarse para su construcción.



*Figura 41.* Aeromodelo terminado del Proyecto "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental".

Tomado de (Pardo et al., 2012, p. 64)

## **2.4. Aeroseed**

### **2.4.1. Aeroseed SKY**

Según la entrevista realizada al Ing. Julio Ullauri, Aeroseed se dedica a prestar servicios de agricultura de precisión y tiene un centro mecanizado que le permite desarrollar 30 aeronaves por mes. Los materiales que son usados para la construcción de las aeronaves incluyen los siguientes: titanio, cobre, plástico, madera, fibra de vidrio y fibra de carbono.



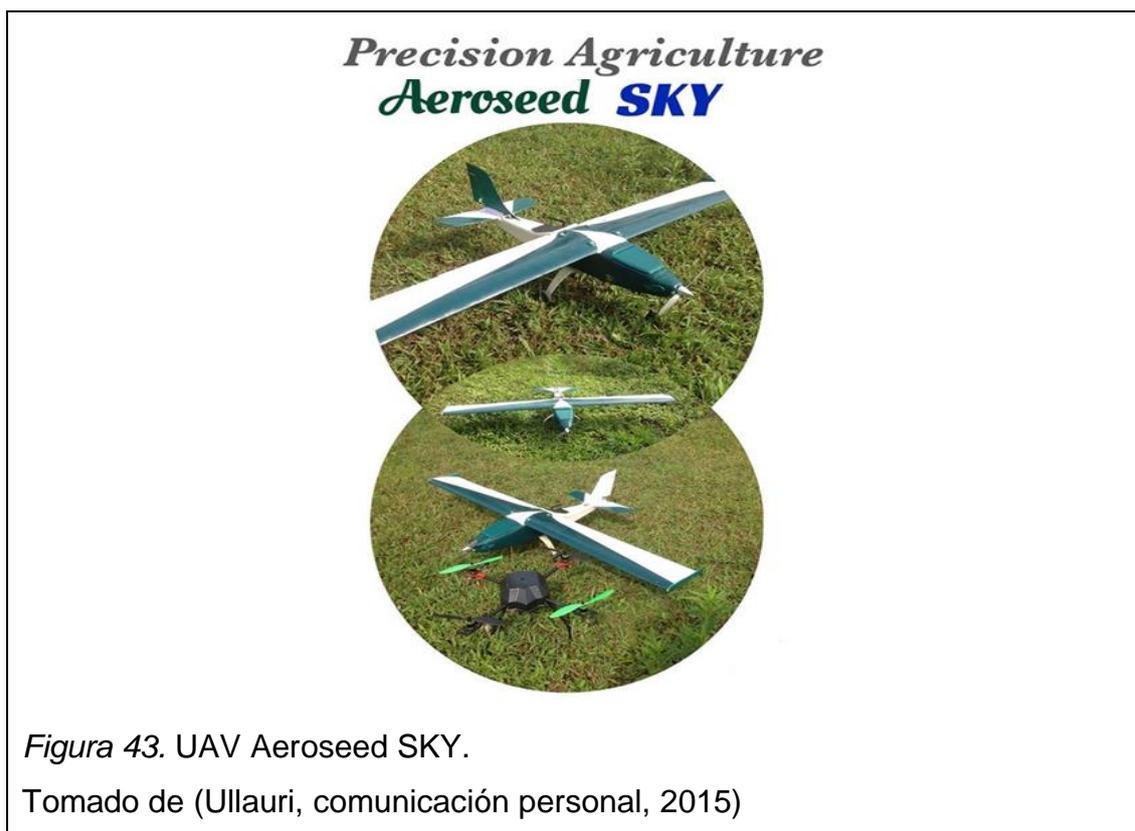
*Figura 42.* Sello Aeroseed

Tomado de (Ullauri, comunicación personal, 2015)

El proyecto Aeroseed SKY ha sido desarrollado desde mayo de 2015; es un UAV considerado como una plataforma multipropósito, pues es capaz de soportar una cámara de infrarrojo cercano (NIR), una cámara multiespectral o una cámara térmica, dependiendo del tipo de información que se espera capturar. Ha tomado cuatro meses su finalización, pues la experiencia con la que se cuenta es elevada. (Ullauri, comunicación personal, 2015)

El proyecto tiene como inicio fundamental las pruebas aerodinámicas pues durante un vuelo, dependiendo de las condiciones atmosféricas, el avión puede pesar tres o cuatro veces más; y es necesario que sea capaz de soportar y mantenerse en vuelo. El UAV tiene vuelo autónomo con piloto automático, desarrollado por la empresa en función a la aerodinámica de la aeronave.

El UAV Aeroseed SKY está diseñado para volar tanto en la sierra como en la costa, por lo que tiene dos configuraciones de alas, mismas que le permiten soportar las condiciones en cada ambiente. El tiempo de vuelo es uno de los factores más importantes y determinantes para el negocio, pues mientras más tiempo en el aire, más dinero. (Ullauri, comunicación personal, 2015)



El UAV Aeroseed SKY tiene las siguientes características técnicas y operativas:

Tabla 9. Características del UAV Aeroseed SKY.

Características	
Tipo	Ala fija
Peso	3Kg
Wing Spang	2.2m
Fuselaje	1.1m
Construcción	Mixto, material compuesto
Propulsión	Motor eléctrico
Cámara	14 Mp
Endurance	1 Hora
Rango	30 Km
Velocidad crucero	43 – 72 Km/h
Techo operacional	4000m

<b>Características</b>	
Despegue	Pista, lanzamiento, a mano, catapulta.
Aterrizaje	Pista, pastizal, paracaídas.
Área de aterrizaje	30 x 6 m
Comunicación	900 MHz

Tomado de (Ullauri, comunicación personal, 2015)

### **3. Capítulo III Análisis técnico comparativo de los sistemas de percepción remota desarrollados en el Ecuador**

El análisis técnico comparativo de los sistemas de percepción remota desarrollados en el Ecuador, se centra en los proyectos elaborados por el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea del Ecuador (CIDFAE): Plataforma de Gran Altitud (PGA), modernización de la nave aérea controlada a distancia (RPV) Cotopaxi, proyecto Rayo, Proyecto DOCR – CIDFAE. Y el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA) con el Proyecto de Innovación Tecnológica “Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental”. Cabe señalar que se procuró incluir en este estudio los proyectos realizados por Aeroseed, lamentablemente, no se pudo obtener la información respectiva por parte de su propietario, por lo que no fue posible tomarlos en cuenta.

Para la ejecución de los proyectos en distintas áreas investigativas, el CIDFAE ha desarrollado su propio concepto de producción, para el efecto, se diseñan y construyen elementos y sistemas de aeronaves experimentales, apoyados en herramientas de diseño y construcción, *software* y *hardware* de última tecnología que son utilizados creativa y apasionadamente por los investigadores y técnicos de la rama de la aeronáutica.

Antes y durante el proceso del desarrollo investigativo, la viabilidad y planificación de los proyectos se van ajustando a las necesidades operativas estatales e institucionales, por ello, se requiere un consumo equilibrado de todos los recursos asignados. Solo así se logra realizar cada una de las actividades productiva de forma efectiva y eficiente.

Para el diseño, manufactura y construcción de los diferentes prototipos se ha fortalecido tecnológicamente el área de producción e ingeniería del CIDFAE, con herramientas y capacidades que son utilizadas en empresas y entidades de investigación a nivel mundial.

### **3.1. Plataforma de Gran Altitud**

Siendo la primera vez que el país realiza un proyecto que involucre este tipo de aeronaves, se debió ejecutar un sistema de supervisión, control y adquisición de datos denominado SCADA, con el fin de detectar variables físicas y variables propias de la aeronave. Los prototipos pueden mantenerse en el aire usando helio, que es conocido como gas de sustentación, poseen cuatro planos de vuelo móviles para estabilización aerodinámica y una góndola donde se ubican los sistemas de energía, comunicaciones, instrumentación y control. Además, tiene dos motores eléctricos o de combustión, los cuales con la ayuda de servomotores y engranajes le permiten ascender y descender. Adicionalmente, el proyecto cuenta con una Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) que permite recibir, visualizar y administrar la información de telemetría enviada por el prototipo en el aire.

Dentro de la clasificación de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) en el Capítulo I del presente trabajo de titulación se considera al dirigible como una aeronave no tripulada autosustentable con despliegue vertical.

Sus siglas en inglés *HAPS (High Altitude Platform Station)* fueron definidas por las Regulaciones de Radio (RR) No. S1.66A como una estación ubicada sobre un objeto a una altura de entre 20 y 50 Km con un punto específico en referencia a la Tierra (Enríquez y Loya, 2012, p. 35)

#### **3.1.1. Sistema de Instrumentación para una PGA**

La adquisición de información en una aeronave es un requisito indispensable para la realización de un vuelo, involucran variables físicas (medio ambientales) o aquellas que advierten la altura y velocidad, su condición respecto al suelo sin necesidad de contar con una referencia o en qué dirección vuela. Según varios autores, para la adquisición de la información, por restricciones de peso, tamaño y energía el sistema de instrumentación, el más óptimo es el comercial. Siendo

el Wireless Sensor Network (WSN) el recomendado. (Fernández, Ordieres, Martínez, González, Alba, Lostado y Pernía, 2009, pp. 15-16) (Gómez, Damas, y Prieto, 2007) (López, 2008) (Radioptica, s.f.)

La funcionalidad general de este tipo de sistema sigue la siguiente jerarquía: “1. Detectar las medidas cuantitativamente relevantes, 2. Monitorear y almacenar la colección de datos, 3. Valorar y evaluar la información, 4. Generar formularios comprensibles para el usuario, 5. Mejorar el proceso de decisión. 6. Generar avisos y alarmas” (Gavilanes, 2012, p. 44).

### **3.1.1.1. Utilización de SCADA en la PGA**

Todos los prototipos de PGA emplean:

“Helio como gas de sustentación, poseen cuatro planos de vuelo móviles para estabilización aerodinámica; y una góndola que alberga el sistema de energía, instrumentación, control y comunicaciones, como actuadores del sistema, el prototipo dispone de dos motores (eléctricos o combustión), que son posicionados para ascender o descender por un eje que rota valiéndose de servomotores junto a un sistema de engranes llamado Basculantes”. (Gavilanes, 2012, p. 45)

La evolución de los SCADA pasó de usar tecnología comercial en los prototipos 6T y 9T, a sensoriamiento de fábrica de los iMote2 (IEEE.org, s.f.) (Crossbow, 2007), los cuales se emplearon exclusivamente para la telemetría a una segunda etapa donde se empleó tecnología de desarrollo nacional y comercial para los prototipos 15T donde se incrementaron tarjetas para el acople de nuevos sensores que permitían la supervisión del sistema de energía pudiéndose medir voltaje y presión. Esta solución requirió el acople de fuentes y baterías para el funcionamiento de los sensores sobredimensionando el sistema.

En una etapa superior se utilizó un SCADA de desarrollo nacional para la supervisión del prototipo 27T que incluyó el diseño de una interface que controlaba el manejo de servomotores, actuadores lineales o cualquier otro elemento actuador.

Entre las capacidades de dicha interface están:

“a) Medición de temperatura, para accionamiento del sistema de ventilación de la góndola, b) Posee una entrada que permite capturar una señal que emite un transmisor FUTABA, con el cual el piloto puede manejar el Basculante de la nave, c) Adquiere señales de la medición y flujo del combustible, d) Medición de RPMs, e) También cuenta con la capacidad para realizar comunicación ETHERNET y SERIAL; y de esta manera transmitir los datos de todos los sensores mencionados a la estación base” (Gavilanes, 2012, p. 46).

El sistema SCADA para una aeronave más liviana que el aire es poco común encontrarlo en Ecuador, lo que llevó a procesos de investigación y desarrollo de especialistas, ingenieros y técnicos, dando como resultado un sistema nacional que cumple con los requerimientos de estas aeronaves en cuanto a peso, tamaño y bajo consumo de energía.

### **3.1.2. Simulador atmosférico de presión y temperatura para calibración de equipos electrónicos usados en la PGA**

Los equipos de telecomunicaciones del área de carga útil y los equipos electrónicos del área de energía desarrollados para el proyecto de la Plataforma de Gran Altitud fueron sometidos a condiciones atmosféricas de presión y temperatura distintas a las que se pueden encontrar al nivel de mar y al nivel de la ciudad de Quito, por tanto, se vio la necesidad de evaluar dichos equipos. Finalmente, se decidió recrear las condiciones requeridas en una cámara que propicie la temperatura y presión adecuada.

### **3.1.3. Construcción de un modelo de globo aerostático**

Para la construcción del modelo de globo aerostático se realizó un estudio de los componentes fundamentales, los cuales debían reunir requisitos esenciales. Entre ellos están las electroválvulas, la plataforma principal en la cual se aloja un modelo dentro de una cápsula de acrílico, la bomba de vacío y la fuente de alimentación.

Para la elaboración del modelo de globo aerostático se planteó un esquema formado por cuatro sistemas para su funcionamiento: sistema estructural constituido fundamentalmente por el domo de acrílico y el modelo o prototipo; sistema neumático que contiene la bomba de vacío y las electroválvulas; sistema electrónico y eléctrico, el cual suministra la energía eléctrica a los sensores de presión, electroválvulas y la transmisión de información de la tarjeta de adquisición de datos.

Se utilizaron compresores y generadores de vacío con el fin de reducir la presión dentro del domo, de los cuales no se obtuvieron los resultados esperados por lo que se decidió emplear la bomba de vacío, la que produce la absorción continua de aire.

El modelo de globo aerostático implementado cumplió con los preceptos vitales entre los que se encuentran la transmisión de señales desde los sensores de presión hacia la tarjeta de adquisición de datos y el funcionamiento de los mecanismos neumáticos y electrónicos que permite el ejercicio del control automático de gases.

### **3.2. Modernización de la aeronave controlada a distancia (RPV) Cotopaxi Proyecto “Rayo”**

Con el diseño y construcción del primer prototipo en 1997 por parte del CIDFAE, Ecuador inicia su carrera en la construcción de aeronaves no tripuladas,

llamadas en inglés *Remotely Piloted Vehicle* (RPV), en español vehículo aéreo controlado a distancia. El primer avión no tripulado que despegó y fue guiado desde una estación en tierra en el año 2000 se convirtió en el primer RPV de Latinoamérica.

### **3.2.1. Primeros elementos de modernización**

Con el inicio del proyecto de Detección, Observación, Comunicación y Reconocimiento en julio de 2011, se inicia también el proyecto de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) como uno de sus tres componentes, lo que terminaría en un prototipo de aeronave no tripulada con capacidad de cumplir misiones de vigilancia y reconocimiento al enviar información a su base de operaciones en tiempo real.

Para alcanzar esta meta se decidió utilizar los prototipos de aeronaves controladas a distancia RPV Cotopaxi con la idea de determinar su viabilidad y modernizarlos. (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.)

Invocando a la experiencia de los especialistas que trabajaron en el proyecto de Plataforma de Gran Altitud se concluyó que los sistemas de guiado, navegación y control debían ser reemplazados, debido a la obsolescencia que presentaba en ese entonces la tecnología utilizada en el momento de su fabricación.

De igual forma en el área de estructuras aeronáuticas se concluyó que: “la aerodinámica, el peso y la envergadura de estas aeronaves no eran las adecuadas para su empleo en el proyecto UAV”. (Armas, 2012, p. 16).

Con relación al peso del nuevo Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) se construyó un fuselaje con características más livianas utilizando fibra de carbono, *honey comb* y *kevlar* que respondía a las mismas dimensiones que los prototipos de aeronaves controladas a distancia (RPV) y los nuevos estudios de ingeniería desarrollados por los capacitados ingenieros del CIDFAE. (Armas, 2012, p. 17).

### **3.2.2. Viabilidad de utilización de los prototipos**

Conocidos los resultados de las pruebas practicadas y la falta de mantenimiento a los prototipos donde se sustituyeron y modificaron elementos significativos en la estructura de la aeronave controlada a distancia (RPV) Cotopaxi del proyecto “Rayo” y el desarrollo continuo y acelerado de los materiales para la fabricación de estructuras aeronáuticas a nivel mundial lleva a la conclusión de que estas aeronaves no cumplen los objetivos planteados del proyecto de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV).

Con la tarea de dar cumplimiento a lo dispuesto con la programación del proyecto de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), específicamente a la puesta a punto de estas aeronaves, se realizó el análisis, diseño aerodinámico y estructural, adecuación y construcción de casi todo el prototipo. Este sería utilizado como parte del avance tecnológico dirigido hacia los sistemas de guiado, navegación y control, sensoramiento, telecomunicaciones y aeronáutica, que serían utilizados en los prototipos finales, dando vida a un nuevo modelo, el que se ha bautizado con el nombre de “Fénix”. (Armas, 2012, p. 18).

En la construcción del Fénix se han integrado todos los sistemas, al permitir realizar pruebas con componentes estructurales como: la fabricación de un ala totalmente con fibra de carbono, reestructuración del fuselaje con nuevos compartimentos para alojar los equipos de comunicaciones, control, energía, sistemas de recuperación; lográndose un diseño adaptado a cada necesidad al convertir la aeronave en una plataforma confiable para la realización de las pruebas necesarias. (Armas, 2012, pp. 18-19).

A esta aeronave se le ha incorporado un sistema de recuperación (paracaídas), diseñado y construido en el país, el cual cumple con los parámetros de seguridad para el vuelo. Se activa exclusivamente en caso de que la emergencia implique la pérdida total de la aeronave, a través de un enlace codificado independiente a todos los demás sistemas de la aeronave. (Armas, 2012, pp. 18-19).

Como parte del proyecto Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), el CIDFAE cuenta con este modelo que realiza entre 4 y 5 vuelos promedio a la semana, con los cuales cumple los objetivos de comprobación, monitoreo y ajustes del sistema de control automático enviando imágenes en tiempo real y datos provenientes de los sensores. (Armas, 2012, p. 19).

El Fénix, al formar parte de inspiración evolutiva en el avance del proyecto de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), es operado ya como una plataforma final de los sistemas aéreos no tripulados del Ecuador. A este prototipo le sigue el UAV-2: Gavilán es el prototipo final del CIDFAE, UAV que ha sido desarrollado con todos los progresos de los prototipos anteriores. (Armas, 2014, p. 8).

### **3.3. Proyecto DOCR – CIDFAE**

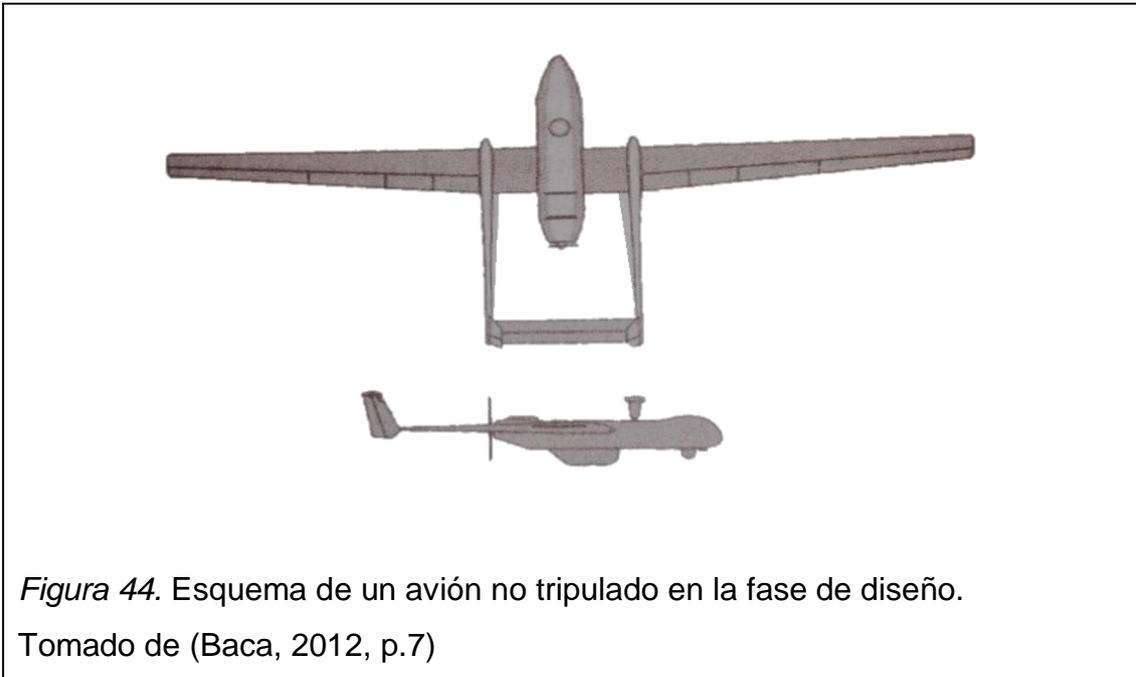
#### **3.3.1. Diseño conceptual de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV)**

El diseño conceptual para la construcción de una aeronave no tripulada se debe basar fundamentalmente en la misión específica que esta va a cumplir. Las especificaciones aerodinámicas del diseño permitirán contar con una aeronave estable y con autonomía suficiente para cumplir sus funciones.

Durante el proceso de diseño conceptual se deben seguir ciertos aspectos que son básicos para lograr el resultado final deseado, tales como; requerimientos de la aeronave, análisis aerodinámico, análisis estructural y métodos de construcción del prototipo.

Cuando se ha finalizado y aprobado el diseño conceptual se llega al diseño detallado que envuelve todas las áreas de la aeronáutica como son: propulsión, estructura, control, estabilidad y rendimiento; así como, las áreas de la mecánica como anclajes, elementos de sujeción, tren de aterrizaje, sistemas de combustible y sistema de recuperación y frenado de la aeronave (Brandt, Stiles, Bertin, y Whitford, 2004, pp. 1-36).

En esta fase de diseño se debe tener en cuenta los requerimientos que el prototipo deberá cumplir tales como: techo límite de operación, velocidad de pérdida (*stall*), velocidad de crucero, tiempo de autonomía y capacidad de levante de carga.



### 3.3.1.1. Diseño aerodinámico

En el cálculo aerodinámico para el diseño de una aeronave es necesario contar con un software especializado que permita ayudar a obtener las fuerzas aerodinámicas, que en otro caso sería necesario probar en un túnel de viento. El resultado obtenido con el *software*, permitirá obtener diferentes derivadas de estabilidad para validar el proceso aerodinámico.

De los *software* más utilizados en el mercado se destaca el *AEROdynamics* que facilita el cálculo de estabilidad y de aerodinámica de los prototipos (Hanley Innovations, s.f.)

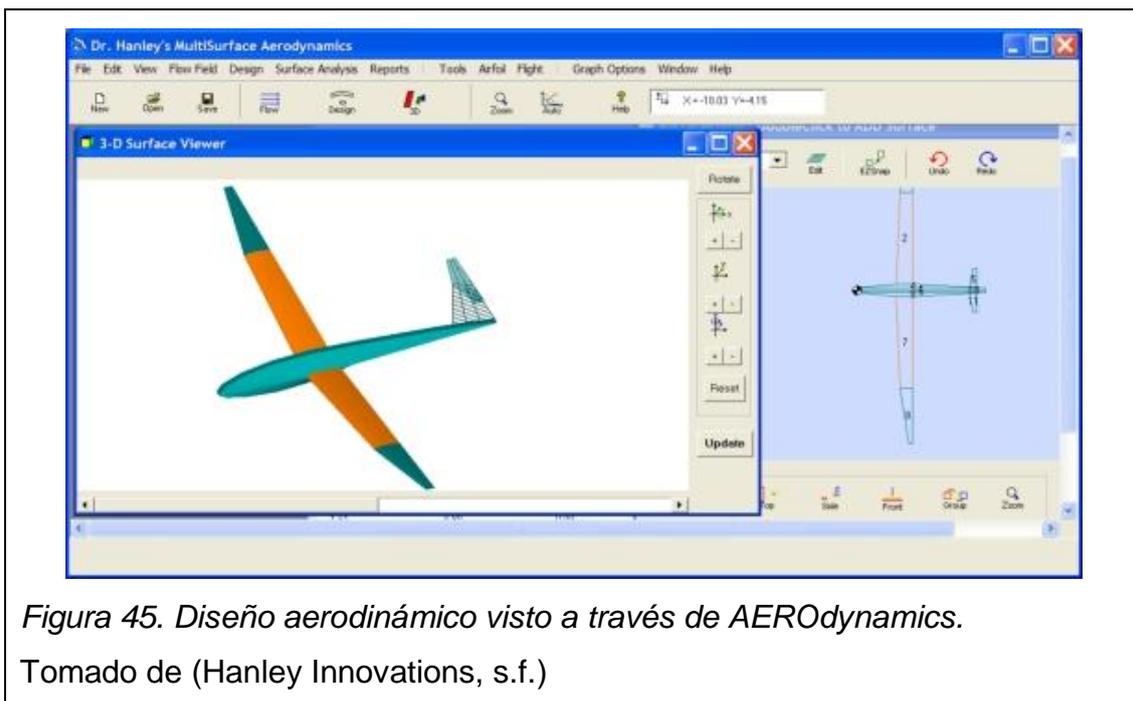


Figura 45. Diseño aerodinámico visto a través de AEROdynamics.

Tomado de (Hanley Innovations, s.f.)

### 3.3.1.1.1. Determinación del perfil Alar

La primera acción que se debe realizar en el programa para el diseño aerodinámico de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) es la determinación del perfil alar. Esta acción es decisiva para determinar las características de la aeronave y así cumplir los requerimientos dados por el fabricante. Existen variantes de distintos perfiles alares que ya están documentados por organizaciones especializadas, los parámetros más significativos para la selección del perfil alar son los siguientes:

Tabla 10. Valores de ponderación para la selección del perfil alar.

Parámetros	Valor de Ponderación	Justificación
$\frac{C_L^{\frac{3}{2}}}{C_D}$	70 %	Régimen en el cual la aeronave volará la mayor cantidad de tiempo
$C_{Lmax}$	20%	Disminución de la velocidad de pérdida
$\frac{C_L}{C_D}$	5%	Régimen de segunda relevancia

Tomado de (Baca, 2012, p. 8)

De los resultados obtenidos en la tabla 10 se concluye que los valores de ponderación son a criterio del diseñador. Esta parte se debe tener en cuenta en el cálculo, para identificar qué fracción de la misión es más importante para la aeronave, para los tipos de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) lo más significativo es la distancia recorrida a la velocidad de crucero cuando está siendo diseñada. (Baca, 2012, p. 8)

### 3.3.1.1.2. Cálculo de derivada de estabilidad

El *software AERodynamics* permite la realización de los cálculos aerodinámicos y de estabilidad que en un primer momento están dados por el modelamiento geométrico de la estructura de la aeronave a diseñar.

Este programa permite calcular las derivadas de estabilidad, que deben seguir las siguientes reglas de signos para determinar la estabilidad longitudinal, lateral y direccional de la aeronave. (Baca, 2012, p. 9)

Tabla 11. Derivadas de estabilidad de una aeronave con sus respectivos signos

Derivada	Signo
<b>Movimiento Longitudinal</b>	
$C_{L\alpha}$	>0 normalmente puede ser también <0
$C_{L\delta e}$	>0
$C_{Lih}$	>0
$C_{D0}$	>0
$C_{D\alpha}$	>0
$C_{D\delta e}$	Depende en $i_h$
$C_{Dih}$	>0 para $i_h > 0$ ; <0 para $i_h < 0$
$C_{m0}$	Puede ser >0 ó <0
$C_{m\alpha}$ (estabilidad estática longitudinal)	<0
$C_{m\delta e}$ (control de poder del elevador)	<0
$C_{mih}$	<0

Derivada	Signo
<b>Movimiento Lateral-direccional</b>	
$C_{y\beta}$	<0
$C_{y\delta a}$	Aproximadamente igual a 0
$C_{y\delta r}$	>0
$C_{L\beta}$ (estabilidad estática lateral)	<0
$C_{L\delta a}$ (control de poder del alerón)	>0
$C_{L\delta r}$ (derivada de control cruzado)	>0
$C_{n\beta}$ (estabilidad estática direccional)	>0
$C_{L\delta a}$ (derivada de control cruzado)	<0
$C_{n\delta r}$ (control de poder del timón de dirección)	<0

Tomado de (Baca, 2012, p. 9)

Los resultados de las derivadas están implícitos en el *software*, lo que se debe aclarar en el diseño, es preciso que se vaya modificando el modelamiento geométrico de la aeronave hasta que los signos de la derivada sean los necesarios para lograr la estabilidad en el prototipo. El signo es el que determina si la derivada está correctamente calculada en función de la aeronave. (Yechout, 2003, p. 316).

### 3.3.1.1.3. Cálculo de la Polar

La polar es un mecanismo que permite conocer la resistencia total de la aeronave a ser diseñada. Esta etapa en el diseño es fundamental pues permitirá determinar la propulsión necesaria para vencer dicha resistencia y permitir el empuje necesario para la aeronave. La polar es una ecuación de segundo grado que se expresa de la siguiente forma: (Hanley Innovations, s.f.).

$$C_D = C_{D_0} + K_1 C_L^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

El término de la derecha se conoce como el coeficiente de resistencia inicial, el segundo término es la suma de la resistencia aeronáutica para aeronaves subsónicas como es el caso de los UAV. (Hanley Innovations, s.f.).

#### 3.3.1.1.4. Cálculo de pesos y balance

Para el despegue de una aeronave es fundamental un correcto cálculo del peso y el balance durante el diseño. Esta parte tiene que ser concebida de conjunto con el cálculo de estabilidad longitudinal ya que el centro de gravedad del avión se debe determinar para poder seguir las demás ecuaciones de estabilidad. En primer lugar se deben establecer los pesos de todos los componentes de la aeronave, como a continuación se muestra en la tabla 12 para una aeronave no tripulada. (Baca, 2012, p. 10)

Tabla 12. Distribución de pesos para una aeronave no tripulada

<b>Pesos</b>	<b>Valor (Kg)</b>
$W_{\text{vacío}}$	150
$W_{\text{paracaídas}}$	10
$W_{\text{combustible}}$	135
$W_{\text{motor}}$	61
$W_{\text{hélice}}$	5
$W_{\text{equipos}}$	39
$W_{\text{tren aterrizaje}}$	20
$W_{\text{payload}}$	50
$W_{\text{batería}}$	25
$W_{\text{cableado}}$	5
$W_{\text{carga neta}}$	350
<b><math>W_{\text{TO}}</math></b>	<b>500</b>

Tomado de (Baca, 2012, p. 10)

El peso en vacío de un prototipo de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) incluye las Alas, Booms, Fuselaje y Empenaje. El peso de carga neta es la suma

de todos los componentes internos del prototipo. El cálculo de este peso es lo que se conoce como peso de levante máximo y en ningún momento se puede sobrepasar debido a que el diseño del avión es para levantar ese peso real. (Baca, 2012, pp. 10, 11)

Cuando el peso de los diferentes componentes del Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) se ha determinado, se ubican de forma tal que el rango operativo del centro de gravedad quede establecido de forma longitudinal. Este rango operativo se calcula con el peso inicial y el peso final de la misión a que estará destinada la aeronave en cada momento, en todo caso, se considera la carga útil o carga fija que lleva la aeronave, es decir, los equipos de sensores, cámaras fotográficas y de video. Además de esto la nave lleva como carga el combustible que va consumiendo y el paracaídas que no se consideran dentro de la carga útil, pero que es fija. (Baca, 2012, p. 10)

Cuando se han identificado estos dos diferentes centros de gravedad, se mantiene entre ellos una distancia que va hasta el 20% de distancia del centro aerodinámico del avión. Este centro se puede asumir que está a un cuarto de la cuerda desde el borde de ataque. Esta acción es esencial en la definición de la estabilidad longitudinal de la aeronave. (Baca, 2012, p. 10)

#### **3.3.1.1.5. Análisis propulsivo**

Para el cálculo necesario de la propulsión que contrarreste la resistencia producida por la aeronave en un vuelo es necesario un túnel de viento. En las condiciones actuales el Ecuador no posee la capacidad para obtener un túnel de viento que sirva de polígono de prueba para obtener los datos necesarios lo que se suple utilizando *software* especializado de simulación.

Cuando la fuerza de resistencia se ha calculado utilizando el *software* especializado o un túnel de viento, se necesita transformar en fuerza de empuje la potencia para los posibles motores elegidos y así contrarrestar la resistencia

a la que es sometida la aeronave. En todos los casos se pueden investigar aeronaves de características similares y así tener un punto de referencia en la selección definitiva del motor.

De igual importancia resulta la selección de la hélice para el motor ya que necesita ser lo suficientemente eficiente para que se produzca la potencia necesaria que transformará el motor en fuerza de empuje. Es importante señalar que el motor seleccionado debe tener la fuerza suficiente para levantar la aeronave. (Baca, 2012, pp. 10-11).

### **3.3.1.2. Diseño estructural**

En el momento de realizar el diseño estructural de una aeronave, los parámetros más importantes a tener en cuenta son: la arquitectura, el acondicionamiento interno, la disposición de los equipos, el tipo de aeronave que se desea construir y las fuerzas que se encuentran involucradas. Una vez realizado el diseño aerodinámico, estos parámetros son importantes para completar las características estructurales del ala, estabilizadores, fuselaje, tren de aterrizaje y demás elementos del avión. (Baca, 2012, p. 11)

Según Baca (2012, pp. 10, 11): El diseño toma como partida los modelos en tres dimensiones creados en la parte aerodinámica para su análisis estructural y selección del material. El momento de la construcción puede elevarse en complejidad desde piezas pequeñas hasta alas enteras de más de 10 metros de envergadura y fuselaje completo. Una vez seleccionada la alternativa más viable en la configuración de la aeronave se realiza el diseño aerodinámico y estructural de todas sus partes.

#### **3.3.1.2.1. Alas**

Al definirse la geometría del ala se procede al diseño aerodinámico y estructural de forma tal que se logre su función específica, mismas que permitirán que sus

componentes estructurales mantengan una estrecha relación entre ligereza y estabilidad.

En la estructura interna se tienen en cuenta componentes básicos como largueros, larguerillos y costillas. El larguero es el elemento estructural principal que va desde un extremo al otro en forma longitudinal desde el encastre (unión del ala al fuselaje) hasta la punta. Es el responsable de soportar las principales cargas del ala tanto en vuelo como en tierra, su construcción es a base de aleaciones de aluminio de alta resistencia y están presentes en números de dos o tres por alas. (Medina, 2012, p. 35)

Las costillas están presentes en forma transversal en el ala, tienen dos funciones fundamentales, dar forma y curvatura al ala, añadiendo rigidez y firmeza al conjunto. La cubierta del ala está hecha con fibra de carbono laminada con el objetivo de mantener el peso apropiado y darle resistencia a la misma. (Medina, 2012, p. 35)



Figura 46. Gráfica del análisis estructural de un ala.

Tomado de (Medina, 2012, p. 35)

#### 3.3.1.2.2. *Flaps* y alerones

Los *flaps* y alerones son los elementos de mando que proporcionan la capacidad de sustentación a bajas velocidades y de provocar alabeo en la aeronave. Los

materiales con que se construyen y se de configuración estructural tienen analogía con los del ala. (Medina, 2012, p. 37)

Para los *flaps* y alerones se aconsejan balsas cubiertas con fibra de carbono para el conjunto estructural el cual está formado por agrupaciones de costillas que le dan solides y forma al elemento de mando. (Medina, 2012, p. 37)

### **3.3.1.2.3. Estabilizadores verticales y horizontales**

Los estabilizadores en su conjunto son superficies de mando del empenaje, a la hora de su construcción se presentan similitudes a las usadas en las alas donde se tienen en cuenta los largueros, costillas, larguerillos y revestimientos.

La carga a la que están sometidos los estabilizadores es soportada y transmitida de la misma forma que en un ala. Cada componente recibe parte de la carga y transfiere el resto a los otros miembros, como resultado la carga llega a los largueros, estos la trasmiten a los *Booms* y de ahí a la estructura del fuselaje. (Medina, 2012, p. 37)

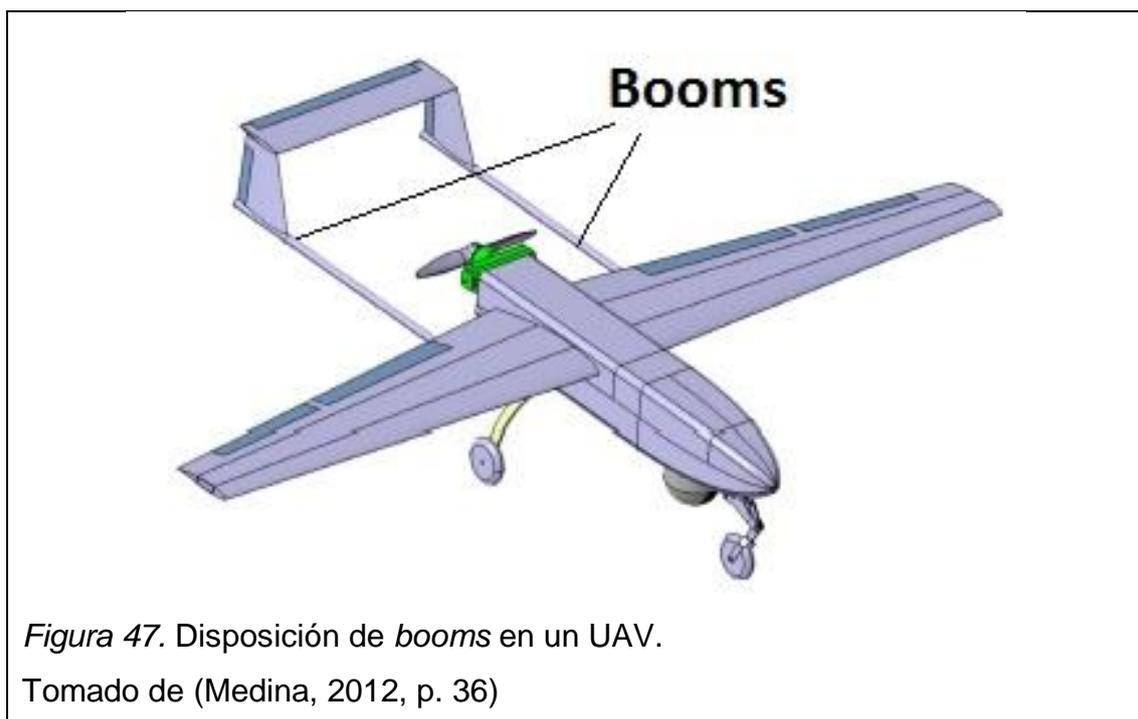
En el caso de la cola que se representa con un estabilizador horizontal debe lograr un diseño que brinde un buen equilibrio longitudinal además de garantizar estabilidad estática y conseguir un comportamiento dinámico en los modos longitudinales adecuados, brindando posibilidades de maniobra en el plano vertical. Aquí se encuentra el timón de profundidad que tiene como función principal el movimiento de cabeceo del avión y el control del ángulo de ataque.

El estabilizador vertical garantiza la estabilidad direccional del avión. Se trata de una superficie aerodinámica simétrica con posibilidades de generar cargas horizontales. Aquí se localizan los timones direccionales a través de los cuales se generan el movimiento del avión sobre su eje vertical. (Medina, 2012, pp. 35-36)

Para la construcción de los estabilizadores los materiales recomendados deben ser de baja densidad y fácil adquisición, siendo la madera contrachapada o la fibra de carbono los más indicados de conjunto con costillas de balsas reforzadas. (Medina, 2012, p. 36)

#### 3.3.1.2.4. Los Booms

Son elementos de fijación entre el fuselaje del avión y los estabilizadores y superficies de empenaje, tiene como funciones principales servir de elementos de comunicación a través de los cuales se controlan los estabilizadores. Su diseño y construcción debe ser de tal forma que resista las cargas aerodinámicas a las cuales se expondrá al igual que la flexión que provoque el cantilever de la superficie de control de cola. (Medina, 2012, p. 36)



Los booms son elementos estructurales estables que se deben complementar con el resto de la aerodinámica de la aeronave. Entre los dos booms se encuentra el espacio que ocupa la hélice del motor. En su fabricación se debe

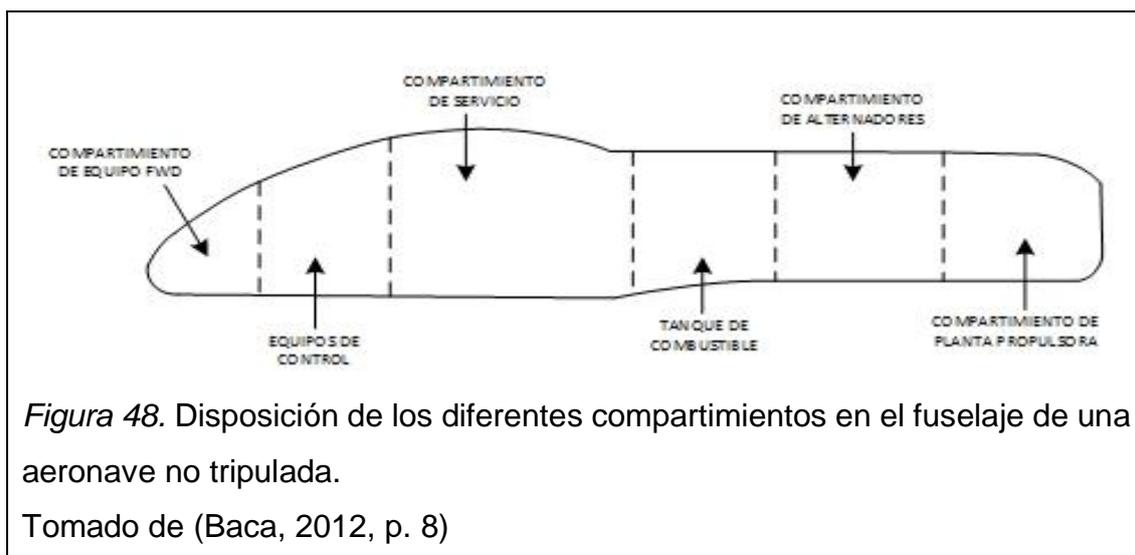
emplear fibra de carbono o de aluminio de aviación con el objetivo de mantener el peso diseñado para la aeronave. (Medina, 2012, pp. 36-37)

### 3.3.1.2.5. Fuselaje

El fuselaje está diseñado para albergar los distintos dispositivos que controla el avión, el combustible y los vinculados a la misión para lo cual ha sido diseñada la aeronave. De esta sección de la aeronave es fundamental el diseño por lo que sus componentes guardan estrecho vínculo entre la resistencia aerodinámica y el espacio interior. (Medina, 2012, p. 38)

Uno de los elementos fundamentales para el diseño del fuselaje es la esbeltez que debe tener el mismo, el cual es la relación entre la longitud del fuselaje y su longitud transversal, el diámetro.

Las distintas formas que puede presentar un fuselaje depende de varios factores entre los que se pueden enumerar: la disposición de los equipos, el tren de aterrizaje, el tamaño del motor y el régimen para el cual es diseñado, además de la aerodinámica. (Baca, 2012, p. 7).



### 3.3.2. Sistema de comunicación: Enlaces de datos para UAS

La importancia de las comunicaciones en un sistema aéreo no tripulado (UAS) radica en la concepción misma de dicho sistema. De esta manera una parte considerable del trabajo de autonomía de una aeronave no tripulada depende de los enlaces de datos, antes o durante el vuelo.

#### 3.3.2.1. Descripción del Sistema

Los sistemas aéreos no tripulados están integrados por dos componentes fundamentales, como son: la aeronave no tripulada y la estación de control en tierra (ECT). La comunicación entre el Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) y el ECT está basado en un *Uplink* para la transmisión de comando y control de los operadores a la aeronave y un *Downlink* que devuelve las condiciones de la aeronave, así como las imágenes del sensor o carga útil. (Austin, 2010, p. 12).

Los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) tienen la capacidad de llevar consigo diferente tipos de sensores, por momento más de uno a la vez por lo que el sistema de enlace debe recopilar los datos de estos sensores y enviar a la estación de control de tierra. En la figura 49 se muestra el funcionamiento básico del sistema: (Jara, 2012, p. 22)

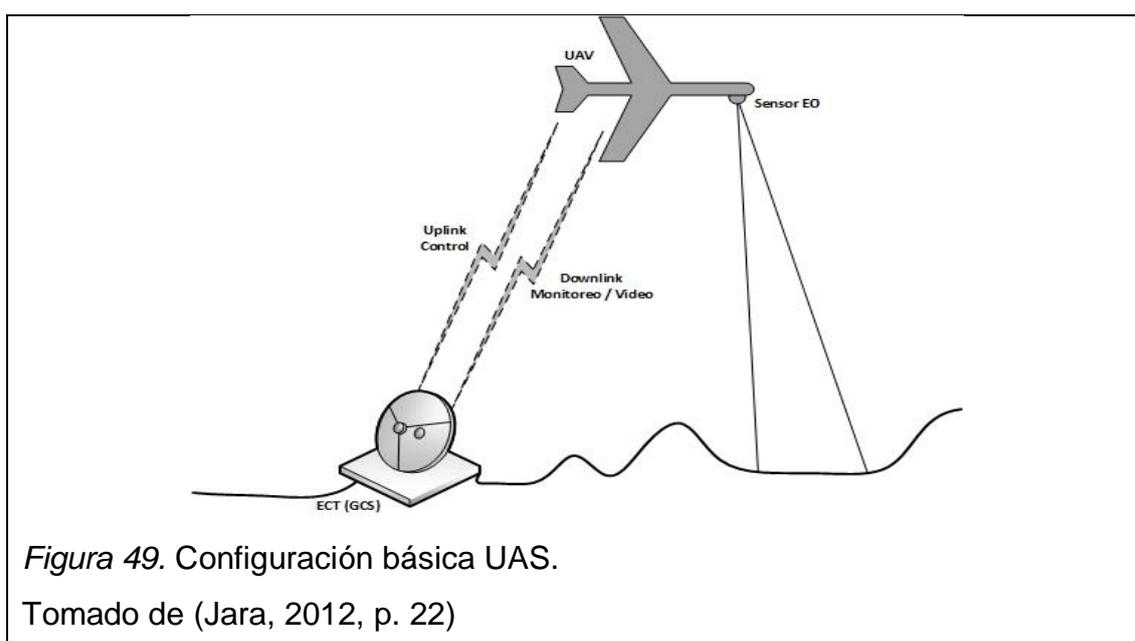


Figura 49. Configuración básica UAS.

Tomado de (Jara, 2012, p. 22)

Las operaciones de los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) se realizan a distancias superiores a los 150 Km, en estas áreas se podrá transmitir datos y video en tiempo real. Para lograr estas funcionalidades se considerarán ciertas limitantes durante el diseño del sistema.

Se realizará el análisis del mismo para el cumplimiento de los objetivos centrándose principalmente en la frecuencia y rango de operaciones. Los datos de control se enviarán en la banda VHF. (Jara, 2012, p. 23)

### **3.3.2.2. Diseño del sistema**

A medida que se suben las bandas se impone la propagación directa estableciendo la línea de vista LOS (*Line off Sight*) como una razón fundamental en el diseño del sistema. Las frecuencias conocidas como frecuencias de microondas no son refractadas y funcionan únicamente en línea de vista. (Shephardmedia, s.f.)

Se debe considerar en el diseño la tasa de transmisión de datos que equivale a la cantidad de información transferida por segundo en un canal de comunicaciones, además del ancho de banda que es la diferencia entre la más alta y más baja tasa de transmisión de datos en un canal de comunicación. (Clot, 2000, p. 6).

En un sistemas aéreo no tripulado se necesitan altas tasas de transmisión de datos en especial cuando se desea transmisión de video en tiempo real desde la aeronave hacia la ECT. (Shephardmedia, s.f.) (Clot, 2000, p. 7).

De igual manera a medida que una aeronave disponga de una mayor cantidad de sistemas o procesamiento de datos requerirá por ende de mayor ancho de banda. Por lo que es importante considerar las mejores técnicas de transmisión de información entre las que se incluyen el *Spread Spectrum* como una de las que mayor requerimiento de ancho de banda necesita. (Clot, 2000, pp. 6-7).

A la hora de un diseño ideal y la realidad de un espectro, estrictamente regulado y muy saturado, es vital la selección de la frecuencia de operación. Una frecuencia baja tiene una mejor y más segura propagación pero una capacidad reducida de transferencia de datos. Del otro lado se tiene que una frecuencia más alta tiene posibilidad de llevar mayores tasas de transferencia de datos pero con la condición de que requieren una directa e ininterrumpida línea de visión entre las antenas transmisoras y receptoras, así como alta potencia para propagar la señal. (Jara, 2012, pp. 20-24)

En la selección de las frecuencias se deben tener en cuenta, además del aspecto técnico los aspectos regulatorios, pues en el país el uso de las frecuencias tanto militares como civiles se establecen por autoridades competentes, aunque hasta ahora, en el país, no se han definido las frecuencias en las cuales se pueda trabajar. De igual manera en proyectos de este tipo se debe analizar la integración de tecnologías donde se considere la disponibilidad de equipamiento apropiado y compatible con las frecuencias establecidas. (Jara, 2012, pp. 20-24)

### 3.3.2.3. Rango

Para alcanzar las distancias que se establecen, en el proyecto UAS se consideran varios retos para los que se necesita ingenio, porque se deben considerar variantes que permitan alcanzar el rango deseado, entre ellas se podrían citar el direccionamiento de antenas, potencias transmitidas y principalmente lo relacionado con la línea de visión. (Jara, 2012, pp. 20-24)

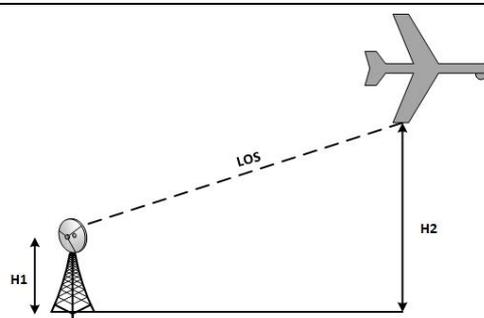
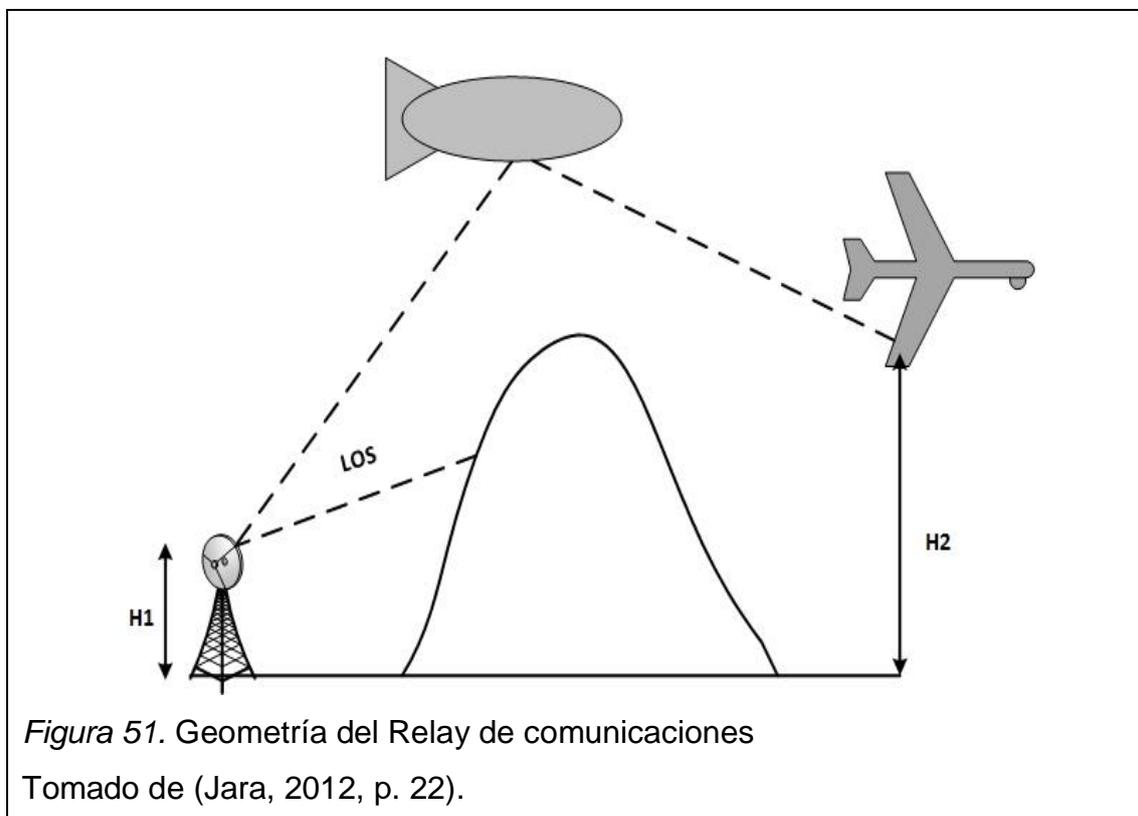


Figura 50. Geometría de la línea de vista.

Tomado de (Jara, 2012, p. 23)

Lograr estos rangos representa un gran desafío, aún cuando se garantice una suficiente línea de visión. Para un sistema de comunicación formado por una estación móvil (el UAV) se puede proponer el uso de antenas directivas. En otras variantes de configuración se pueden situar antenas directivas tanto en el Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) como en la ECT, esto traería como limitaciones el espacio y el peso que llevarían a modificar el diseño del sistema basado en una antena direccional en tierra y una omnidireccional en el Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV), en todos los casos se debe considerar un adecuado sistema de alineamiento de la antena basado en la posición relativa GPS, la potencia recibida o una combinación de ambos.

En los casos que se desee mantener el rango de operación previsto, superando el condicionamiento de la línea de vista se puede utilizar como alternativa el uso de un Satélite u otro Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) como plataformas para establecer una transmisión de los enlaces, a esta forma se le conoce como relé de comunicaciones. (Jara, 2012, p. 24)



### 3.3.2.4. Otras consideraciones

El éxito de un sistema de comunicaciones estará condicionado en gran medida por la integración exitosa de sus componentes y las consideraciones de seguridad del enlace.

En principio es necesario contar con una instalación adecuada y un posicionamiento correcto de las antenas en la aeronave, así se evita que se bloquee el enlace. Las antenas para una aeronave con configuración LOS deben ser ubicadas en la parte inferior de la estructura, sin embargo, en el caso de que sean utilizadas en conjunto con otras plataformas para hacer *relay*, éstas deberán ubicarse en la parte superior del prototipo.

Las pérdidas de potencia generan serias dificultades en sistemas tan sensibles como los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), esto puede provocarse por situaciones tan simples como inadecuado blindaje de los cables coaxiales o las líneas de acoplamiento.

En todos los casos es recomendado un adecuado empleo de la ganancia de la antena. Dependiendo de la aplicación y limitaciones del sistema, se utilizarán antenas omnidireccionales o directivas. Conocida la importancia de los enlaces de datos en los sistemas UAS se deben tomar en cuenta todas las medidas para evitar al máximo su vulnerabilidad (Gardner, 2009).

La probabilidad de detección de la señal estará condicionada en gran medida por la configuración del sistema, del tipo de haz emitido así como de la continuidad de la transmisión. Se debe considerar además que el mayor riesgo de detección está en el *Downlink* con respecto al *Uplink* pues en tierra están los mayores sistemas de detección en comparación a los que se puedan desplegar en el aire. (Nelson, 1995, p. 4) (Department of the Navy, 1993, p. 1-3).

### 3.3.3. Sistemas electro-ópticos implementados en Prototipos de Vehículos Aéreos no Tripulados UAVs

En la actualidad existe un gran número de aeronaves no tripuladas con diferentes misiones que van desde operaciones militares hasta monitoreos de determinadas zonas, teledetección, entre otros.

Para el cumplimiento de estas misiones estas aeronaves deben contar con sistemas ópticos de última generación con posibilidades de reconocimiento de imágenes, visión nocturna, *tracking* y procesamiento de mediciones de distancia. Todas estas funciones se supervisan y monitorean completamente desde una estación en tierra tipo Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT). Todos estos sistemas al estar incorporados en aeronaves requieren para su funcionamiento radioenlaces que posibiliten la adquisición en tiempo real de las imágenes y el control del sistema óptico. (Jara, 2014, pp. 13-17)



Figura 52. Unidad de control (CU)

Tomado de (Jara, 2014, pp. 14)

Los sistemas electro-ópticos implementados en prototipos de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) están formados por tres componentes, la unidad óptica y sensores, el PEB (*Payload Electronics Box*) a través del cual se activan los sensores y controlan los movimientos de la unidad óptica y la unidad de control (CU) que generan los movimientos de la unidad óptica y las señales de activación de los sensores.

Estos componentes el PEB y la unidad óptica forman parte de la aeronave y la unidad de control (CU) estaría ubicada en la EMCT. . (Jara, 2014, pp. 13-17)



*Figura 53.* Unidades del sistema electro-óptico

Tomado de (Cotsjournalonline, s.f.)



*Figura 54.* Unidad óptica

Tomado de (Controp, s.f.)

### **3.3.3.1. Sistema óptico**

Los sistemas ópticos presentan como principal características la alta resolución con un zoom óptico que alcanza tener una visión con calidad hasta una distancia de 7 Km. (Palacios, 2012, p. 25)



Figura 55. Imagen tomada por sensor electro-óptico

Tomada de (Palacios, 2012, p. 28)

### 3.3.3.2. Sistemas *Forward Looking Infrared Radiometer (FLIR)*

La apreciación de imágenes a través de radiaciones infrarrojas se basa en la tecnología del conocimiento de imágenes que se logran a través de variaciones térmicas de los objetos. (Fernández y Prieto, 2013, pp. 51-69).

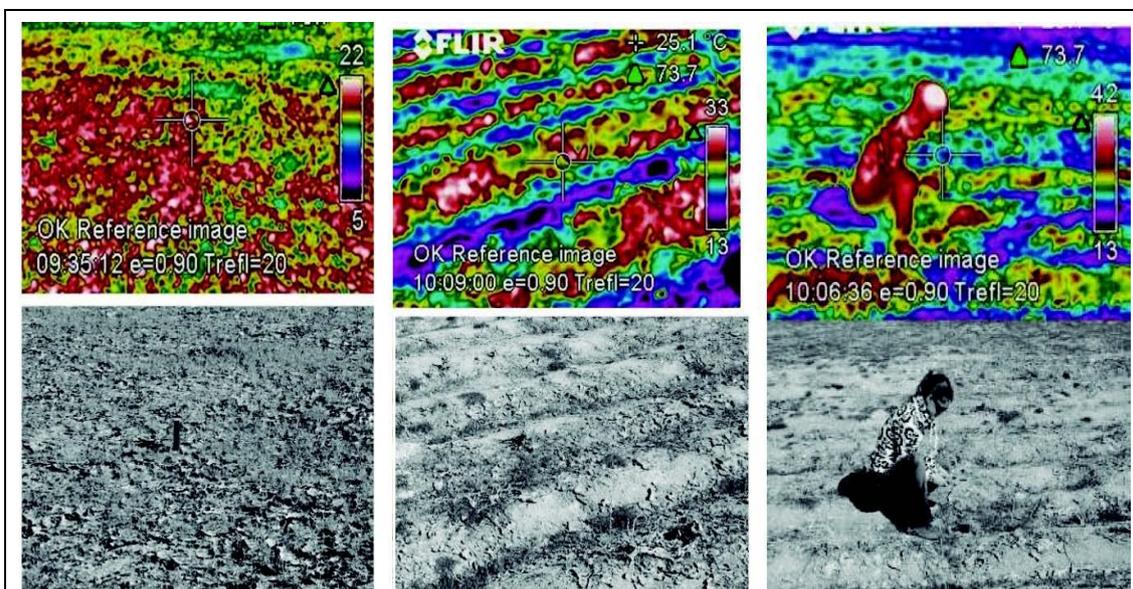


Figura 56. Imagen térmica del sistema electro-óptico

Tomado de (Fernández y Prieto, 2013, p. 55)

- a) Nota: Tripletas de pares constituidos por una fotografía normal y una imagen radiométrica o térmica que permiten comparar aspectos relativos a la distribución de litosomas y su imagen térmica en la base a escala de detalle.

### 3.3.3.3. Dispositivos *Laser Rangefinder* (LRF)

Los dispositivos *Laser Rangefinder* (LRF) utilizan una combinación de laser con un sensor óptico y el procesamiento de señales para determinar las distancias a las que se encuentren los distintos objetivos. (Palacios, 2012, p. 28)



*Figura 57.* Medición de distancia a través del dispositivo LRF del sensor electro-óptico

Tomado de (Palacios, 2012, p. 28)

Todas las funciones descritas con anterioridad son controladas desde la unidad de control (CU) que está acoplada al sistema electro-óptico. En la adquisición de las imágenes a través de la unidad óptica que se encuentra en la aeronave y el control de la misma a través de la unidad de control (CU) será necesario emplear un radioenlace aeronave - Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT). Estos enlaces de comunicación que se utilizan serán siempre en tiempo real de tipos inalámbricos y bidireccionales. (Palacios, 2012, pp. 28-29)

### 3.3.3.4. Adquisición de datos: Sistema de transmisión, control y transmisión de imágenes

En la estación de mando y control situada en la Estación de Mando y Control en Tierra se precisa el contar con sistemas inalámbricos con posibilidades de transmitir y recibir datos desde y hacia la aeronave con el objetivo de adquirir los datos generados por el sistema electro-óptico. (Palacios, 2012, p. 26)

De manera general se dispondrá de dos sistemas de comunicaciones inalámbricos, uno en función de la transmisión de imágenes en tiempo real que genera la unidad óptica que se encuentra en la aeronave y otro que sería empleado para el control del mismo desde la Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT). (Palacios, 2012, pp. 25-30)

Estos sistemas de comunicación tienen diferentes características debido al tipo de señal que pueden transmitir o recibir. La transmisión de imágenes en tiempo real que se generan desde la aeronave por la unidad óptica necesita contar con sistemas de comunicaciones inalámbricos que sean capaces de transmitir videos en formato denominado *National Television System Committee* (NTSC) o *Phase Alternating Line* (PAL). (Palacios, 2012, p. 29)

Como son estos sistemas los que garantizan el envío de imágenes es necesario garantizar la señal, por esta razón poseen un sistema de seguimiento de antenas y altas ganancias. Para el control de la unidad de óptica y de los sistemas conocidos como *Forward Looking Infrared Radiometer* (FLIR) y *Laser Rangefinder* (LRF), (dispositivos que realizan mediciones de distancia), se utiliza la unidad de control que se encuentra enclavada en la Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT). Para esta función se utiliza un sistema inalámbrico que garantiza una comunicación entre los sistemas, dispositivos y la unidad de control (CU). (Palacios, 2012, pp. 29-30)

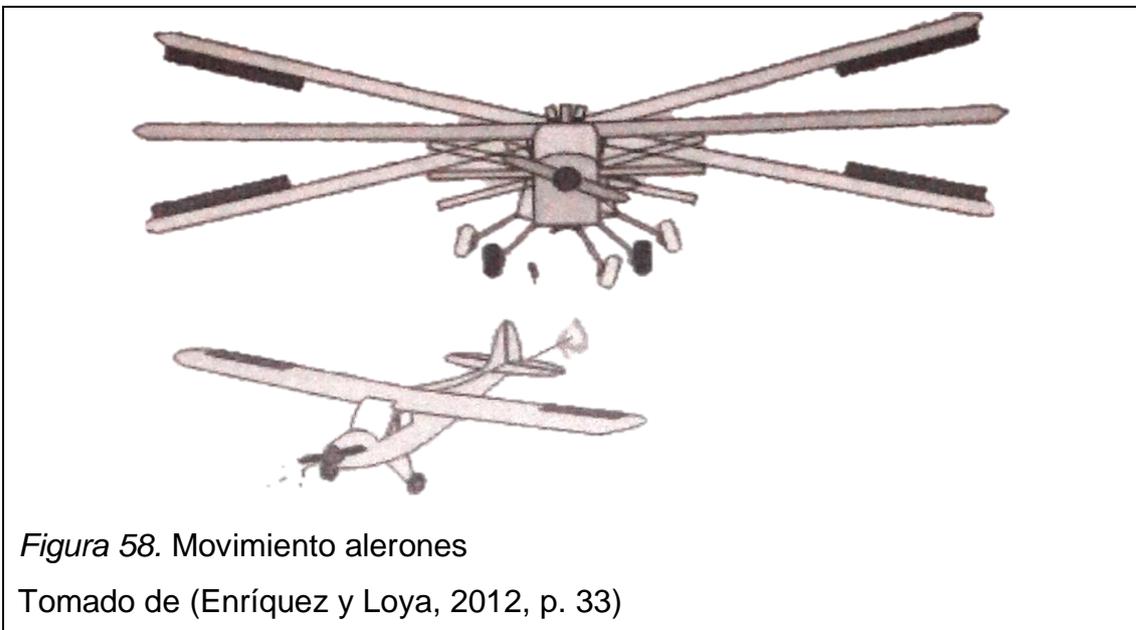
#### **3.3.4. Sistema de Guiado, Navegación y Control Automático (GNC) de un Vehículo Aéreo no Tripulado UAV**

“El sistema de pilotaje automático de un UAV se basa en una lógica de control mediante ecuaciones de estabilidad y navegación de una aeronave, integrada y compilada en tarjetas electrónicas con los sensores y elementos de control”. (Enríquez y Loya, 2012, p. 35)

Un sistema GNC (*Guidance, navigation and control*) está formado por el *software* y el *hardware* donde se analiza la lógica de control, las ecuaciones de estabilidad y el modelo matemático para poder procesar las variables físicas en base a los movimientos de la superficie, el control de la aeronave y los actuadores, todos ajustados y calibrados para obtener un rendimiento óptimo en cada fase del plan de vuelo. (Enríquez y Loya, 2012, p. 35).

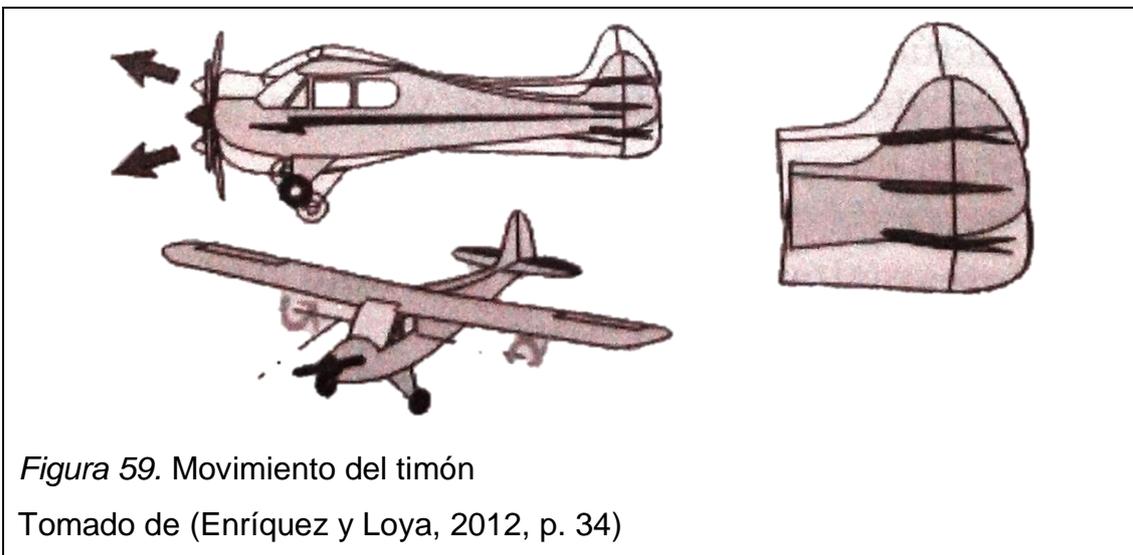
#### 3.3.4.1. Sistema de control automático de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)

Para lograr el control total de una aeronave UAV se deben tener en cuenta varias superficies de control que son: Alerones, elevador, *rudder*, *flaps* y acelerador. Los alerones se encargan del control en el eje longitudinal de la aeronave, siempre ubicados en las alas siendo su movimiento asimétrico. Cuando en un semiala el alerón baja y se mueve hacia arriba en la otra semiala ocurre lo contrario logrando que la aeronave gire sobre su eje longitudinal, permitiendo así cambiar la dirección durante el vuelo. (Enríquez y Loya, 2012, pp. 35-36).

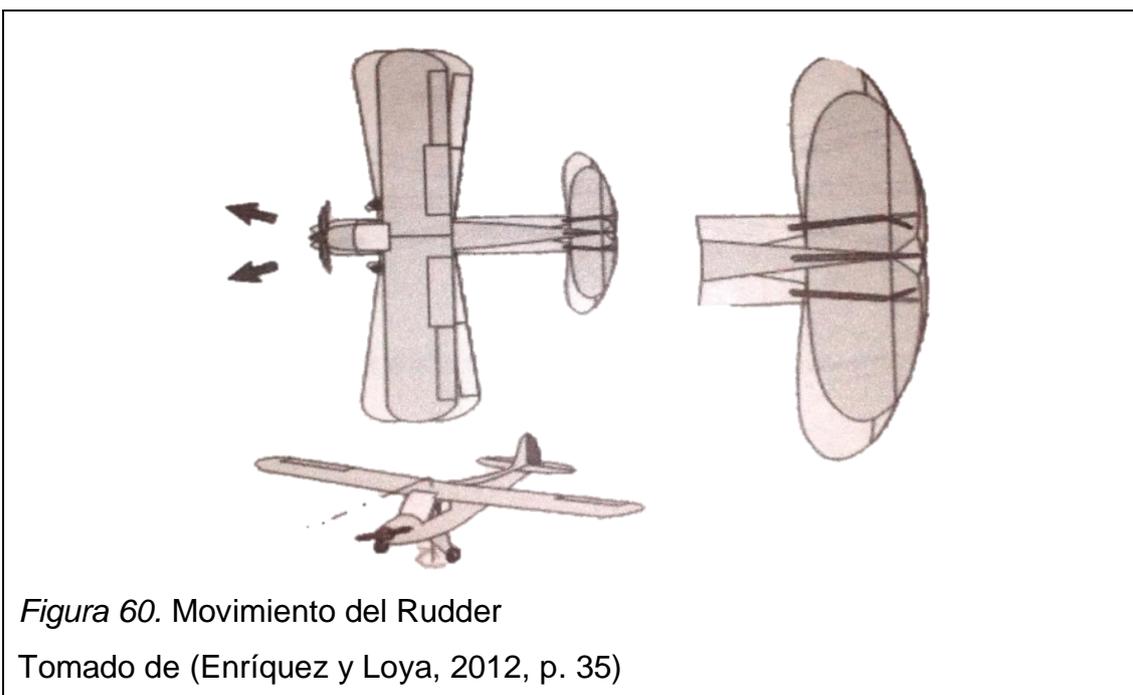


El elevador o timón de profundidad, como también se le conoce, es utilizado para controlar la altura o la incidencia de la aeronave, este actúa sobre el eje

transversal del avión. Para que la aeronave gane altura el timón de profundidad, se inclinará hacia arriba, permitiendo con ello levantar la nariz y ascender. Para lograr la función inversa el elevador apuntará hacia abajo provocando que la nariz apunte en la misma dirección. (Enríquez y Loya, 2012, pp. 33-34).



El *rudder* o timón de dirección opera sobre el eje vertical de la aeronave y permite tener un mayor control de la misma durante el despegue y el aterrizaje, (Enríquez y Loya, 2012, p. 35) según se muestra en la figura 60:



Los *flaps* trabajan en conjunto y se desplazan en la misma dirección, no sirven para cambiar de rumbo o altura, su propósito es aumentar la curvatura del ala y con ello la sustentación, ello posibilita un vuelo más lento que facilita el aterrizaje. (Enríquez y Loya, 2012, p. 35)

El acelerador representa el sistema de propulsión de la aeronave, el motor proporciona la velocidad suficiente para que opere el ala y el avión pueda mantenerse en vuelo, es un elemento de gran importancia que actúa siempre y en distintas formas en cada fase del vuelo. (Enríquez y Loya, 2012, pp. 35-36)

#### **3.3.4.2. Integración del piloto automático**

El sistema de piloto automático es un *hardware* integrado que está formado por componentes electrónicos integrados y microprocesadores, dentro del cual se programan y almacenan los algoritmos de control y planes de vuelo. Este *hardware* se encuentra protegido contra impactos, dentro de una caja rugerizada e integrado a un sistema de disipación de vibraciones. (Enríquez y Loya, 2012, p. 35)

El sistema posee entradas y salidas para controlar el avión en modo manual y automático, además de sensores externos tipo *Above Ground Level* (AGL) y *Global Positioning System* (GPS) y conexiones a las antenas de los radios de comunicaciones. (Enríquez y Loya, 2012, p. 35)

En el caso de las vibraciones provocadas por el motor es importante contrarrestarlas incorporando disipadores tanto en la base del motor como en la de los equipos electrónicos. El hecho de una mala configuración en el aislamiento de las vibraciones podría provocar lecturas erróneas de los sensores inerciales, provocando de esta forma dificultades en el procesamiento y digitalización de las señales que gestiona la información al controlador digital.

### 3.3.4.3. Configuración del piloto automático

Configurar el piloto automático exige un grupo de procedimientos en un orden específico con el fin de verificar punto por punto el correcto funcionamiento de cada elemento del Vehículo Aéreo no Tripulado UAV.

Esta labor se realiza a través de una interface gráfica en la cual se programan dos archivos:

- El primer archivo es el que contiene toda la información del perfil de la aeronave donde se incluyen las velocidades, las distintas trayectorias de todas las etapas del vuelo, las tasas de ascenso y descenso y las aceleraciones permitidas, la calibración de los distintos sensores, la configuración de las comunicaciones entre la Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) y el autopiloto, la configuración y calibración de la superficie de vuelo, y otras configuraciones que se puedan tener en cuenta para lograr una mayor eficiencia en el transcurso del vuelo.
- En el segundo archivo se programan comandos especiales para los diferentes planos de vuelo, además de patrones de emergencia en caso de fallas no esperadas, así como comandos que se tienen en cuenta tanto en el despegue como en el aterrizaje.

La calibración de la superficie de control de vuelo se debe realizar de la forma más exacta posible en dependencia del ajuste que el operador del radiocontrol realice a partir de los vuelos de prueba en modo manual, con esto se ayuda a que el piloto automático tenga la mejor información como punto de partida inicial para poder controlarse. Toda la documentación de los vuelos se analiza y almacena para tenerla como referencia al momento de programar el *software* de control en automático.

Para la transmisión y recepción de datos se tienen en cuenta la configuración de velocidad, número y control de datos, el ajuste de la potencia de transmisión y recepción depende del alcance que se quiera lograr, una comunicación

redundante siempre es importante ya que se asegura que la aeronave se encuentre supervisada desde la estación de tierra.

La instalación de las antenas, debe ir antecedida de un estudio con el objetivo de evitar interferencias entre ellas y que a su vez no obstruya los sistemas electrónicos de control.

Cuando se haya logrado la configuración de los archivos de la aeronave, los cuales incluyen los parámetros y planes de vuelo, junto a una correcta integración de los equipos electrónicos se pueden iniciar las pruebas del sistema y los primeros vuelos en modo radiocontrol.

#### **3.3.4.4. Desarrollo de planes de vuelo y simulaciones**

“Un plan de vuelo es un archivo estructurado donde se encuentran todos los comandos que permitirán a la aeronave desenvolverse durante toda la misión del vuelo”. (Enríquez y Loya, 2012, p. 36)

Para cumplir con un plan de vuelo se tendrá en cuenta el objetivo que se desea alcanzar, siendo de reconocimiento del área de vuelo una de las primeras acciones que se deben realizar, así como la evaluación de las condiciones meteorológicas, las cuales no deben sobregirar la capacidad aerodinámica del Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV).

Un plan de vuelo consiste en un grupo de puntos georeferenciados en un mapa que pueden ser identificados como coordenadas absolutas expresada en grados, minutos y décimas de minutos, los cuales garantizan la exactitud en los puntos de interés y coordenadas relativas que se expresan en unidades métricas las que se ubican hacia el norte o al este serían las positivas. (Enríquez y Loya, 2012, pp. 34-36)

Tabla 13. Tipos de coordenadas.

Tipos de coordenadas Waypoints	
Coordenadas absolutas	Coordenadas relativas
(40:7.3986E, 90:230.96N)	(4000,4000)

Tomado de (Enríquez y Loya, 2012, p. 34)

En el caso de las simulaciones se logra verificar la adecuada planificación de los planes de vuelo donde se configuran dirección y fuerzas de los vientos o perturbaciones, tiempo de la simulación y del acceso a la información de los sensores para chequear la respuesta del avión ante estas condiciones.

En conjunto con los planes de vuelo se planifican rutinas de emergencia para situaciones de pérdida de comunicación de radiocontrol, pérdida de comunicación con la Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) o pérdidas de las señales del GPS.

#### 3.3.4.5. Calibración del sistema

Cuando en la aeronave se encuentren complementados todos los sistemas se comenzarán las pruebas funcionales, esto incluye al GNC, el sistema de comunicaciones, propulsión, el sistema de energía, luces de navegación y el sistema de recuperación en emergencia.

Los resultados de estas pruebas son obtenidos con las simulaciones realizadas en el *software*, con el fin de tener una idea del funcionamiento de la aeronave durante la misión programada.

En el caso del modo manual, el operador mantiene un control del avión durante todo el vuelo. La información resultante es analizada para servir de referencia a los archivos de configuración para el paso a automático.

La calibración del modo automático debe seguir la estrategia general de control de la aeronave, donde se combinan los movimientos coordinados de las diferentes superficies de vuelo para obtener la superficie deseada.

Los principales lazos que se utilizan para el control de la aeronave son los siguientes:

“a) *Aileron from roll*: Controla los alerones para reducir al mínimo la diferencia entre el roll deseado y el actual, b) *Elevator from pitch*: Controla el elevador para reducir al mínimo la diferencia entre el pitch deseado y el actual, c) *Rudder from and accelerometer*: Controla el rudder para mejorar el giro de las aeronaves en las curvas, d) *Rudder from heading*: Este lazo de control se emplea durante el despegue de la aeronave para mantener el rumbo deseado sobre la pista hasta alcanzar la velocidad de rotación y poder despegar, e) *Throttle from speed*: Permite minimizar la diferencia entre la velocidad deseada y la velocidad actual de la aeronave, f) *Pitch from AGL*: Controla el pitch para reducir al mínimo la diferencia entre la altitud deseada y la actual, medido por el AGL a bordo de la aeronave, g) *Pitch from airspeed*: Controla el pitch para reducir al mínimo la diferencia entre la velocidad deseada y la actual. Este lazo se activa durante la fase de ascenso, h) *Roll from heading*: Controla el ángulo del banqueo para reducir al mínimo la diferencia entre el rumbo deseado y el actual. Este lazo se activa en cualquier momento cuando la aeronave navega. Las ganancias se basan de acuerdo a la velocidad GPS”. (Enríquez y Loya, 2012, p. 36)

### **3.3.5. Estabilización inercial del Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)**

Para el cumplimiento de una ruta de navegación de las aeronaves no tripuladas se fijan algoritmos de control que establecen las trayectorias de la nave y su comportamiento durante el trayecto, por esta razón, se produce un control genérico en el que se tienen en cuenta, aspectos mecánicos y electrónicos.

“La navegación inercial utiliza instrumentos de medida como acelerómetros, giróscopos y magnetómetros que permiten la navegación de una aeronave tanto para la estabilización como para el guiado, navegación y control”. (Enríquez y Loya, 2012, p. 36)

Las aeronaves deben navegar con una ruta preestablecida y lograr su objetivo de una manera estable y siguiendo patrones para que la aeronave no afronte momentos de riesgo como un Roll (Giro de una aeronave descontrolada a manera de espiral).

#### **3.3.5.1. Solución para la estabilización de una nave no tripulada en función de una plataforma no inercial**

En el caso de la navegación inercial se incorpora la estabilidad como un punto de referencia en periodos de muestras, lo que significa el seguimiento variable al punto de referencia tomando como partida los resultados del giróscopo.

En todos los casos la utilización de un GPS comercial actualiza la información cada segundo por lo que se debe crear una estrategia de control en el segundo que no se quieran datos de actualización. Los valores que genera un GPS ingresan en una actualización de *Setpoint* (Referencia que se le da a un controlador) para cada periodo de muestreo, por lo que al control se le considera como de tipo LTI (*Lineal time invariant*). (Prado y Enríquez, 2012, pp. 37-43)

#### **3.3.5.2. Implementación de los controladores para la estabilización de una nave**

El control para el guiado de la aeronave tiene en cuenta como salida de la planta a los servomotores de alerón y timón, en estos trabajos solo se toma en cuenta el alerón ya que se procura ubicar *Waypoints* (Punto de navegación de un vehículo no tripulado) lo suficientemente separados y con ángulos superiores a

los 120°. Los sistemas de control incluyen varias leyes de control que pueden ser SISO (Sistema de una sola entrada y una salida) o MIMO (Sistema de varias entradas y varias salidas). (Enríquez y Loya, 2012, p. 36)

### **3.3.6. Sistema de energía para un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)**

Para la generación de energía de este tipo de vehículo aéreo se aprovecha en lo fundamental la energía mecánica que crea el motor de propulsión, dicha energía se transforma en energía eléctrica a través de alternadores.

Los componentes del sistema de energía que tienen la misión de generar, almacenar y distribuir en forma segura la corriente y el voltaje requerido son los siguientes:

“a) Generación: Alternador de acuerdo a la planta propulsora del prototipo, b) Almacenamiento: Sistemas de baterías, c) Conversión: Formada por convertidores DC-DC, d) Protección: Fusibles, switch, bracker, e) Distribución, f) Control”. (Rubio, 2012, p. 47).

El sistema de energía de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) interactúa de forma coordinada con todas las áreas de un proyecto de aeronaves no tripuladas, las que incluyen: “a) Guiado, navegación y control (GNC), b) Instrumentación, c) *Data link*, d) *Main Computer*, e) Apuntamiento de Antenas, f) Carga útil, g) Sistema de recuperación de emergencia”. (Rubio, 2012, p. 47).

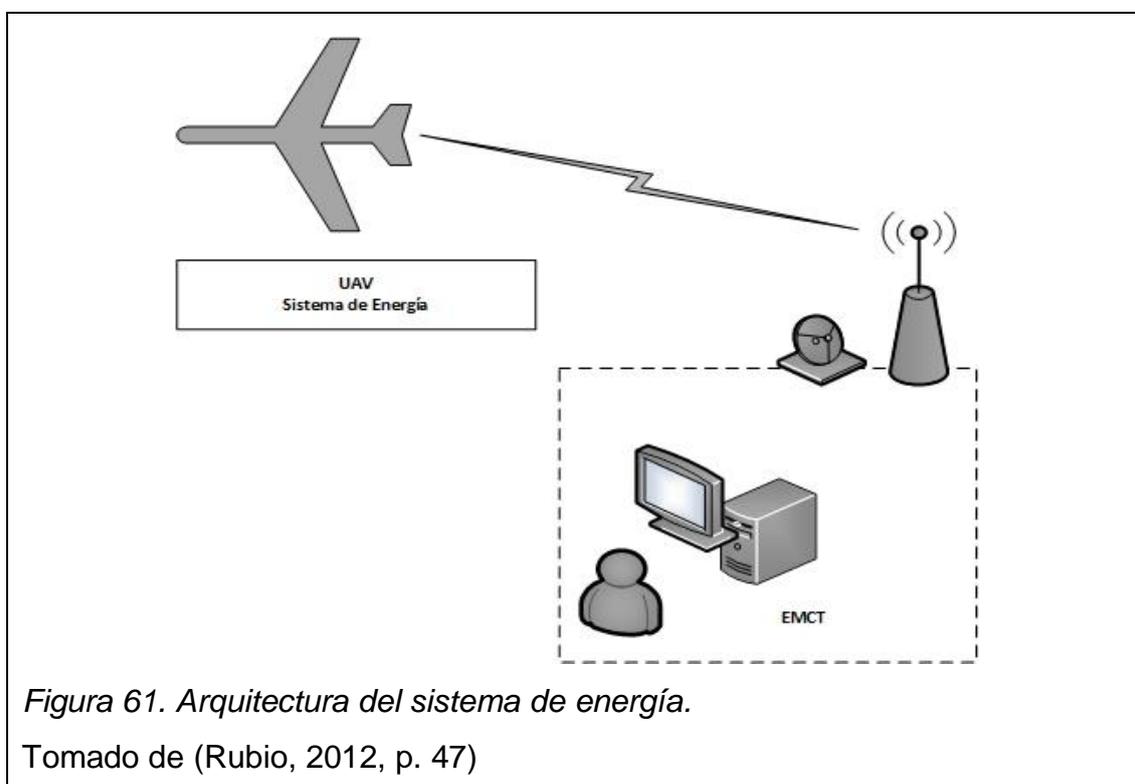
Los requerimientos generales de un sistema de energía para un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) se caracterizan por garantizar la autonomía en caso de afectación del alternador principal, el control de encendido y apagado de los sistemas conectados, recarga del sistema de baterías durante la misión, la planta propulsora debe ser ajustada para que su estado de ralentí, proporcione las revoluciones por minuto suficientes para que el sistema de generación funcione.

### 3.3.6.1. Arquitectura del sistema de energía

El sistema de energía lo forman dos sistemas: el subsistema que se ubica en el Vehículo Aéreo no Tripulado que incluye *hardware* y *software* y el sistema que se encuentra en la Estación de Mando y Control en Tierra (EMCT) y que es el responsable de procesar, guardar, interpretar y visualizar la información mediante una interface humano máquina (HMI). (Rubio, 2012, p. 47).

El HMI es la encargada de enviar la información constantemente al sistema Data Link, estos datos se envían al sistema de energía del prototipo de Vehículo Aéreo no Tripulado en vuelo, la parte electrónica del sistema de energía decodifica los datos para luego ejecutarlos. (Rubio, 2012, p. 47).

Desde el Vehículo Aéreo no Tripulado se transfieren las variables que gestionan el sistema de energía (tensiones, corrientes, temperaturas y estados de los actuadores) las cuales son analizadas en tiempo real en la interface gráfica del HMI en tierra. (Rubio, 2012, p. 47).



### 3.3.6.2. Descripción del sistema de energía

Los sistemas de energía para un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) están formados por seis elementos principales: generación, almacenamiento, conversión, protección, distribución y control.

La generación está formada por un alternador que depende de la planta de propulsión del prototipo. El almacenamiento está formado por un banco de baterías que tiene como misión suministrar energía en caso de fallas del sistema de generación del prototipo, uno de los momentos más trascendentales en este sistema es la conversión, en esta fase se provee de tensiones estándar con altas corrientes para un correcto funcionamiento de los equipos de las diferentes áreas conectadas. (Rubio, 2012, p. 48)

El Control supervisa todo el sistema de energía que trabaja directamente con las variables de temperatura, voltajes y corrientes en la fase de conversión, estas variables son tomadas utilizando los conversores analógicos digitales (A/D). (Rubio, 2012, p. 48)

Las distintas cargas del Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) se desagregan de acuerdo a su clasificación y periodo de consumo, las mismas se clasifican en resistivas e inductivas. En las resistivas están las netamente electrónicas, mientras que en las inductivas están representadas por los servomotores, estando todas presentes durante las operaciones de vuelo. (Rubio, 2012, p. 48). En la tabla 14 se representan el perfil de cargas integras a bordo del prototipo:

Tabla 14. Cargas del Vehículo Aéreo no Tripulado UAV.

Descripción	Cantidad	Corriente (mA)	Potencia (W)
<b>Cargas de 5Vdc</b>			
Apuntador	1	2000	10
Servomotores	9	2000	100
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>4000</b>	<b>110</b>

<b>Cargas de 12Vdc</b>			
Transmisor de video	1	1600	19,2
Radio principal	1	2000	24
Radio secundario	1	2000	24
Amplificador del radio principal	1	4500	54
Amplificador del radio secundario	1	4500	54
Radio para Tx Video	1	1000	12
Piloto automático	1	2000	24
Carga Útil	1	1500	18
Radio Apuntador	1	1000	12
Sistema Apuntador	1	3000	36
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>23100</b>	<b>277,2</b>
<b>Cargas de 28Vdc</b>			
Carga Útil	1	2000	48
<i>Transponder</i>	1	500	12
<i>Main Computer</i>	1	3000	72
Relés Control	1	500	24
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>6000</b>	<b>156</b>

Tomado de (Rubio, 2012, p. 49)

En pruebas experimentales realizadas se obtuvieron que los servomotores y el sistema de guiado, navegación y control reportaron un consumo nominal de 107,3W y un consumo pico de 252,13W, mientras que en los sistemas de comunicaciones tuvieron el consumo nominal fue 198,6W y el consumo pico de 267,9W.

### 3.3.6.3. Conversores DC-DC

A los conversores DC-DC se le presta una atención especial debido a que son los que convierten la corriente continua de un valor de tensión a otro, en ocasiones fungen como reguladores de conmutación, brindando una tensión de salida regulada y con limitación de corriente en su mayoría.

Generalmente en los convertidores DC-DC se tiende a utilizar frecuencias cada vez más elevadas con el fin de reducir la capacidad de los condensadores. En el mercado existe una gran variedad de convertidores DC-DC del tipo *Buck-Boost*, que tienen un valor de salida de voltaje que puede ser mayor o menor que el valor del voltaje de entrada. Esta fuente de alimentación conmutada es *Buck* (elevador) y *Boost* (reductor), el valor de voltaje de salida es ajustado regulando la frecuencia de trabajo del transistor de conmutación. (Rubio, 2012, pp. 49-50)

Tabla 15. Características de los convertidores DC-DC

Características	
Rango Voltaje Entrada	20 - 36 Vdc
Eficiencia	89 - 90 %
Coeficiente de temperatura	0,02 % /°C
Protección de sobrecorriente	105 - 135 %
Protección de sobrevoltaje	115 - 135 %
Temperatura de operación	- 40°C a +100°C placabase
Humedad de operación	30-95% RH no condensando
Humedad de almacenamiento	10-95% RH no condensando
Choque	196,1 m/s
Vibración	No operable ente 10 y 55 Hz

Tomado de (Rubio, 2012, p. 50)

El consumo total de energía se obtiene a partir de los parámetros de eficiencia de los convertidores, el sistema del elemento generador o el sistema de baterías deben proporcionar un valor de tensión mínima de 28 Vdc. (Rubio, 2012).

El análisis de la tabla 16 se realizó considerando una eficiencia del 80% de los convertidores.

Tabla 16. Consumo de corriente de todo el sistema

Potencia suministrada (W) (PS)	Eficiencia Conversor (%) (typ)	Potencia requerida (W) (PR)	Corriente (A)
<b>Cargas de 5Vdc</b>			
110	80	137,5	5,5
<b>Cargas de 12Vdc</b>			
278	80	347,5	13,9
<b>Cargas de 28Vdc</b>			
156	80	195	7,8
<b>Total</b>			<b>27,2 Ah</b>

Tomado de (Rubio, 2012, p. 51)

Para la selección del banco de baterías de respaldo se tienen en cuenta las siguientes características:

Tabla 17. Características del banco de baterías

<b>Especificaciones</b>	
Celdas por unidad	6
Voltaje por unidad	12
Capacidad	74W @ 15 min-rate
Peso	Approx. 5,6 Kg
Corriente máxima de descarga	180 A (5 Seg)
Resistencia interna	Approx. 12 mOHm
Rango de temperatura de operación	<i>Discharge:</i> -20°C to +60°C <i>Charge:</i> 0°C to +50°C <i>Storage:</i> -20°C to +60°C
Rango de temperatura de operación normal	25°C +/- 5°C
Tensión de carga flotante	13,7 to 13,9 Vdc
Límite de corriente de carga máxima recomendada	5,4 A

Tomado de (Rubio, 2012, p. 52)

Los requerimientos del alternador para el prototipo del CIDFAE son: (Rubio, 2012, p. 45)

- Potencia: 500W de 2500 a 3000 rpm
- Potencia: 900W de 4000 a 8000 rpm
- Potencia: 75% a 4000 rpm (675W)
- Voltaje: 28 Vdc
- Temperatura de funcionamiento: - 40°C a +60°C
- Soporta: 10000 rpm por 5 minutos

### **3.3.7. Estación de Control de Tierra para Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs)**

“Una Estación de Control de Tierra (GCS), es un software que se ejecuta en tierra que permite controlar un vehículo aéreo o terrestre no tripulado usando telemetría inalámbrica”. (Guevara y Mayorga, 2012, p. 60).

Los distintos sensores envían la información en tiempo real con la posibilidad de que se puedan cambiar los puntos de control de vuelo inicialmente programados. Adicionalmente es posible realizar cargas de planes de vuelo previo o durante el despliegue del vehículo. Las aplicaciones de la GCS pueden tener diferencias en dependencia de la naturaleza los desarrollos que realicen productores, comerciales o que provengan de plataformas de código abierto.

“La GCS es la interface hombre-máquina con el UAV del sistema” (Guevara y Mayorga, 2012, p. 60). Por medio de ésta los controladores de la estación interactúan a través de los enlaces ascendentes con el fin de establecer el perfil de vuelo o para cumplir con las funciones del *payload* de la aeronave. A través de las comunicaciones de los enlaces descendentes la aeronave devuelve información a los controladores en tiempo real o bajo comandos.

La información recibida es procesada en el lugar donde se coordina y opera la misión de la aeronave, la GCS, puede estar provista de elementos de diversas tecnologías con el objetivo de reorganizar recursos terrestres para situaciones tales como: atención de averías, acciones en función a la información enviada, soporte en monitoreo, entre otros. (Guevara y Mayorga, 2012, p. 60)

La información relacionada con los comandos de vuelo, programas de patrullaje, control de carga útil y otros, son subidos desde la GCS hacia el UAV mediante la red de conmutación a través de los puntos de acceso para el correcto tratamiento de los datos por el UAV. (Guevara y Mayorga, 2012, p. 60)

Algo muy esencial es la seguridad de los enlaces de comunicaciones, pues en caso de que estos fallaran, el UAV debe estar pre-programado para tomar decisiones como: regresar al último espacio donde mantuvo comunicación con la red de radio acceso (RAN) o seguir una rutina de recuperación para continuar su vuelo a un área de asistencia. (Guevara y Mayorga, 2012, p. 60)

Existen diferentes tipos de estaciones de control en tierra de las cuales se presentan las siguientes:

- Proyecto Paparazzi planea generar un sistema de pilotos automáticos excepcionalmente poderoso y cambiante para Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs), es un sistema embebido de *hardware* y *software* que incluyen sus propios accesorios, producido y empleado por la Universidad de Aviación Civil de Francia a inicios de 2003. Su potente interfaz está desarrollada sobre plataforma de código abierto y de libre acceso al público bajo el acuerdo de licencia GNU. Gran cantidad de fabricantes están adquiriendo popularidad con la producción y comercialización de pilotos automáticos Paparazzi y sus complementos. El proyecto Paparazzi está diseñado para ejecutarse sobre sistemas operativos *GNU/Linux* como *Debian* o compatible como *Ubuntu*, también se soporta sobre *Mac*

OS y se encuentra en desarrollo una versión para sistemas operativos de *Microsoft*. (Paparazzi, s.f.).

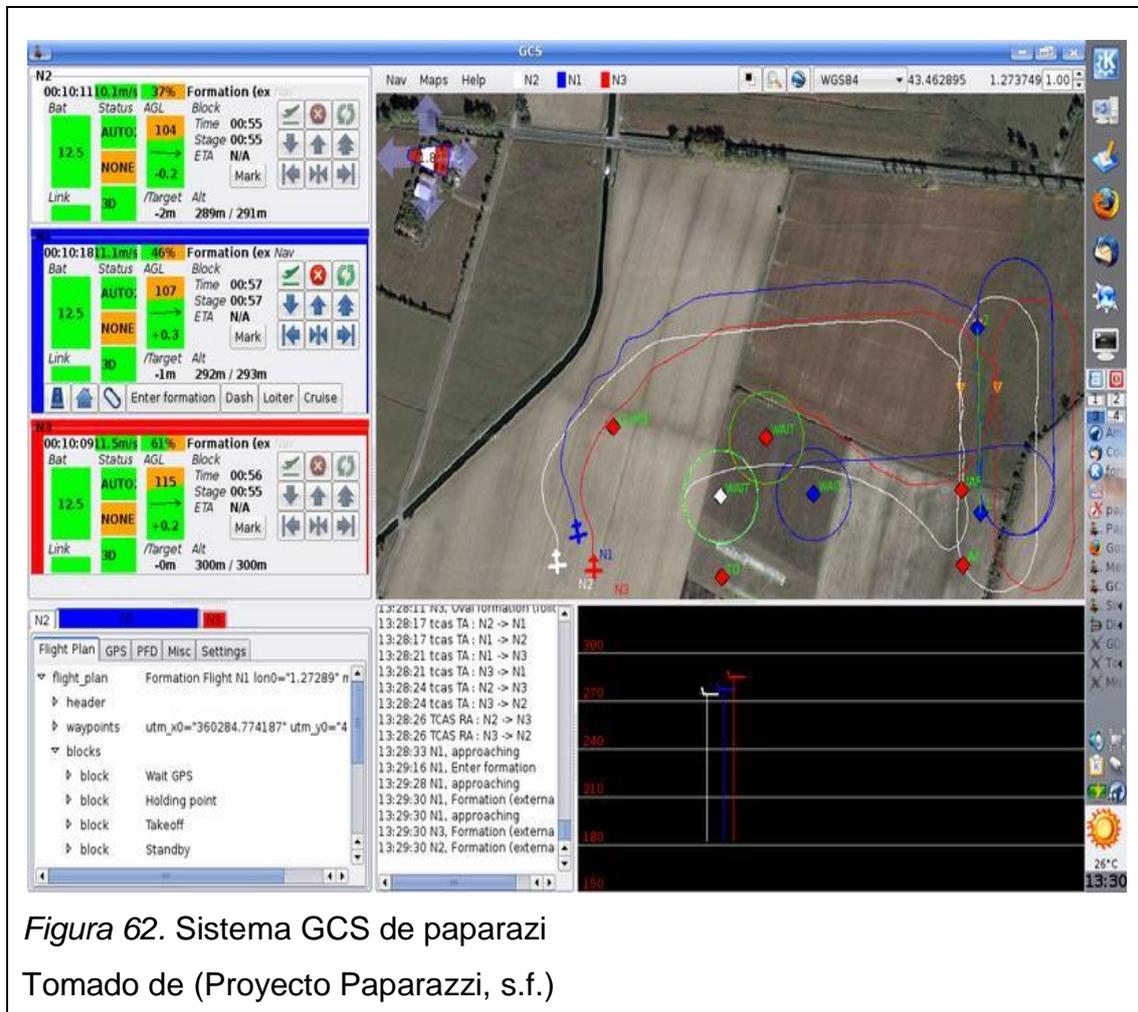


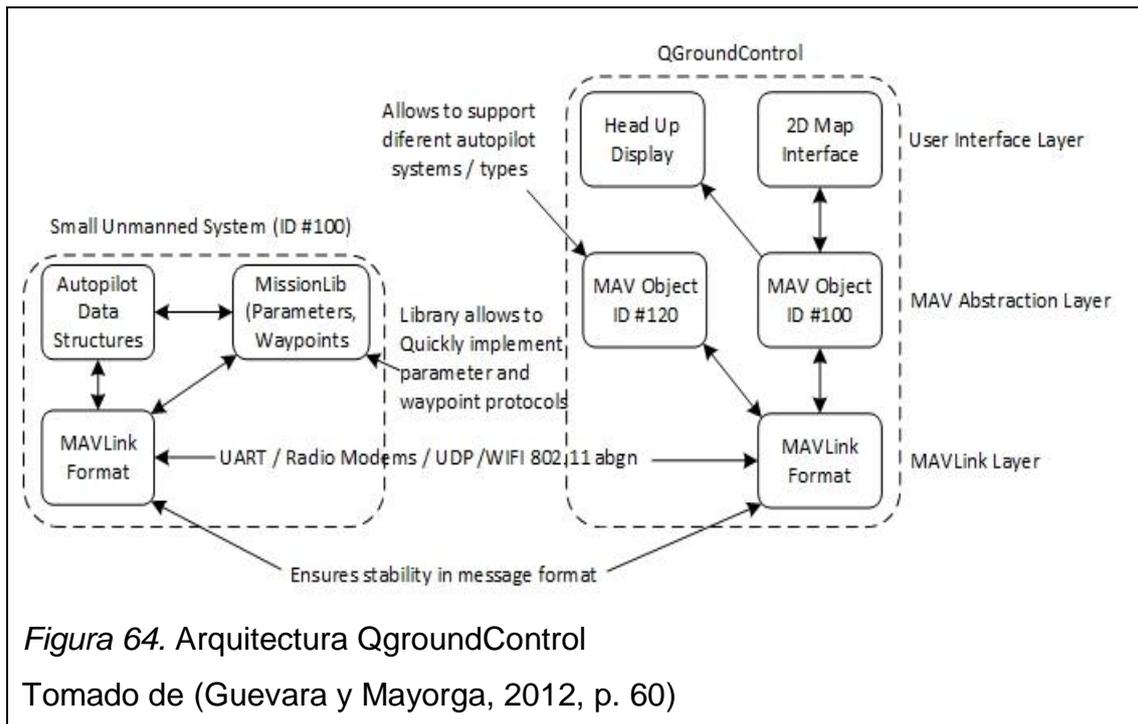
Figura 62. Sistema GCS de paparazi  
Tomado de (Proyecto Paparazzi, s.f.)

- *ArduPilot-mega* es un piloto automático que proporciona un estricto control sobre los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), está desarrollado sobre *hardware* y plataforma de *software* de código abierto relacionado con *Arduino*, maneja *waypoints* en 3 dimensiones y tiene la posibilidad de modificar sus comandos, cuenta además con una GCS. Este sistema también es compatible con plataformas de sistemas operativos de *Microsoft* para 32 y 64 bits. (Ardupilot, s.f.).



Figura 63. Sistema GCS de Ardupilot-mega  
Tomado de (Ardupilot, s.f.)

- *QgroundControl* es un sistema desarrollado a partir de del proyecto llamado *PIXHAWK Research Project* perteneciente a un grupo de desarrollo de *Computer Vision and Geometry Lab* perteneciente al Instituto Federal de Tecnología de Zurich. Está desarrollado sobre plataforma de código y estándares abiertos, presenta una interfaz de comunicación con soporte a largo plazo. Su arquitectura está basada en el empleo de un protocolo bien ligero (*MavLink Micro Air Vehicle Communication Protocol*), el cual está diseñado para la interacción con sistemas de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) pequeños. Este sistema se puede montar sobre diferentes plataformas de sistemas operativos (*Windows, Mac, Linux*) y microcontroladores, es capaz de controlar hasta 255 UAVs. (Guevara y Mayorga, 2012, p. 61).



A continuación, se presenta la figura 65 que expone la Estación de Control de Tierra de *QgroundControl*.



Cada una de las estaciones de control de tierra mencionadas presenta sus propias características, por lo que resulta importante presentarlas para tener una idea más clara de sus semejanzas y diferencias (ver tabla 18).

Tabla 18. Tabla comparativa de los GCS.

	<b>Paparazzi</b>	<b>ArduPilot-mega</b>	<b>QgroundControl</b>
<b>Licencia</b>	GNU	GPL	GPL3
<b>Sistema Operativo</b>	<i>Linux</i>	<i>Windows 7 32/64 bits</i>	<i>Windows, Linux, Mac</i>
<b>Última versión</b>	4.0.2 – estable	1.2.11	1.0
<b>Última modificación</b>	Julio 2012	Septiembre 2012	Marzo 2012
<b>Mapas soportados</b>	<i>Google, Microsoft, OpenStreerMaps</i>	<i>Google</i>	<i>Google</i>
<b>Vehículos soportados</b>	Aeroplano, helicóptero, cuadrirotor	Aeroplano, helicóptero, cuadrirotor, terrestre	Aeroplano, cuadrirotor
<b>Características Generales</b>	<i>Waypoint</i> Múltiples vuelos simultáneos Multiprotocolo Configuración Planes de vuelo Ajuste de plan en vuelo en tiempo real Soporte <i>joystick</i>	<i>3d Waypoint</i> Configuración Planes de vuelo Soporte de 2 vías de telemetría con <i>Xbee wireless module</i> Soporte <i>joystick</i>	Protocolo <i>Mavlink</i> <i>Waypoint</i> Telemetría en tiempo real Soporta hasta 255 vehículos en paralelo Ajuste de telemetría en tiempo real

Tomado de (Guevara y Mayorga, 2012, p. 61)

### **3.3.8. Instrumentación en Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs)**

Para la definición de los instrumentos que necesita llevar un vehículo aéreo no tripulado se deben determinar cuáles son las funciones o trabajos que estos realizarán.

Además de las funciones militares los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) se pueden usar para recopilar información en ambientes de alta peligrosidad ya sea debido a contaminaciones radiológicas, bacteriológicas o químicas en cuyas misiones el ser humano estaría en claro riesgo. Además de acciones contra el terrorismo y el narcotráfico con posibilidades de vigilar distintas zonas donde estas actividades tienen altas incidencias. (Rodas y Rosales, 2012, p. 67)

La instrumentación asociada a los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) incluye una amplia variedad de sensores que dependerán del trabajo que realizará la aeronave y el entorno en que se desplace. Estos sensores van desde los de detección del espectro electromagnético con sensores de rayos gamma hasta sensores biológicos y químicos que trabajan en el espectro visual, infrarrojos o cerca de infrarrojos. También se usan detectores de ondas electromagnéticas y sensores ultravioletas capaces de detectar una amplia diversidad de microorganismos y otros factores biológicos presentes en el aire. Los sensores de tipo químicos usan espectroscopia láser con facilidad para determinar la concentración de distintos elementos en el aire. (Rodas y Rosales, 2012, p. 67)

La captación de radiación infrarroja del espectro electromagnético y la utilización de cámaras térmicas o de termovisión permite a estos sensores la conversión de la energía radiada en información sobre temperatura.

La composición de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) debe posibilitar que se pueda incorporar cualquier tipo de sensor según las necesidades de la misión de UAV que variarían desde sensores de temperatura, GPS, giroscopios, sensores de ultrasonido, medidores de humedad, cámaras térmicas, sensores

de radiación, sensores electro-ópticos e infrarrojos hasta cámaras de video. (Rodas y Rosales, 2012, p. 68)

En un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV), resulta fundamental la determinación de su estado (altitud, velocidad y posición). En la determinación de la altitud se utilizan inclinómetros de 2 ejes o giroscopios de 3 ejes, cuya información es analizada en tierra. (Rodas y Rosales, 2012, p. 68)

En la definición de la posición se utiliza un sistema de referencia global utilizando para ello una gran variedad de métodos y sensores. Para determinar la velocidad se utiliza un sistema de medida inercial o *Inertial Measurement Unit* (IMU) que facilita información con un alto ancho de banda de aceleración y velocidades de rotación de conjunto con un Sistema de Posicionamiento Global Diferencial, sus siglas en inglés (DGPS).

#### **3.3.8.1. Altímetros**

Los altímetros de tipo sonar o barométricos suministran información sobre la altura (distancia al suelo) que son usadas en las maniobras de aterrizaje. Para la orientación que debe tener el Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) con respecto al norte magnético, se utiliza un magnetómetro o brújula digital además de un compás magnético que garantiza prevenir el *heading* que se puede obtener a través del Sistema de Medida Inercial (IMU). (Rodas y Rosales, 2012, p. 69)

Dentro de los sistemas inerciales que puede usar el Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) están el giroscopio, el acelerómetro e inclinómetros. El giroscopio es un sensor inercial que mide rotación angular con respecto al espacio inercial sobre su eje de entrada. El acelerómetro es un sensor inercial que mide aceleración angular o lineal. (Rodas y Rosales, 2012, p. 69).

### 3.3.8.2. Sensores miniaturizados

Siempre que sea posible todos los sensores que forman parte de los requerimientos para el cumplimiento de las funciones del Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV) deberán ser miniaturizados. De esta forma se logra mantener la sensibilidad y velocidad de respuesta para los cuales los UAVs fueron creados. Como ejemplos de estos sensores miniaturizados se encuentran: (Rodas y Rosales, 2012, pp. 69-73)

- Cámara termográfica de alta resolución, la cual proporciona información de hasta los más pequeños detalles. Del análisis de la refracción que proporciona esta cámara se pueden localizar áreas de calor y así variaciones de temperaturas que permiten localizar incendios y personas.
- Cámaras de video con iluminación nocturna, son por lo general compactas, ligeras, con posibilidad de estabilización de las imágenes y de transmitir las por enlaces digitales ya sea a color o en blanco y negro.
- Cámaras visibles e infrarrojas, se utilizan para identificar personas bajo distintas condiciones, así como realizar planos con la adquisición de imágenes o reconocer lugares poco accesibles y otras muchas actividades. (Rodas y Rosales, 2012, pp. 69-73)

Los sensores electro-ópticos convierten la luz o sus cambios en una señal electrónica, son escáner de múltiple espectro con posibilidad de obtener imágenes desde el espectro visible hasta el espectro térmico. (Rodas y Rosales, 2012, pp. 69-73)

Por último, medidores de temperatura, humedad relativa, presión, velocidad del viento y precipitaciones que permiten obtener información de las distintas variables, así como enviarlas a tierra donde se procesarían con el fin de determinar las condiciones ambientales del sistema. (Rodas y Rosales, 2012, pp. 69-73)

Todos estos sensores tienen en común su pequeño tamaño y el bajo consumo de energía.

Tabla 19. Sensores utilizados para instrumentar un UAV.

Sensores	Entradas
Proximidad	5
Humedad	1
Temperatura	1
BPM085	3
Presión	2
<i>Encoder</i>	2
Sensor de energía	3
<b>Total</b>	<b>17</b>

Tomado de (Rodas y Rosales, 2012, p. 71)

### **3.4. Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental**

Cuando se inició con este proyecto se pudo identificar que la utilización de vehículos aéreos en Ecuador se encuentra en etapas iniciales. El campo aeronáutico en el país ha tenido una limitada investigación y son pocas las instituciones que desarrollan investigaciones científicas o tecnológicas en esta área. (Pardo, Cedillo, Lucero, Tirado, Andi, y Calupiña, 2012, p. 3)

La utilización de este tipo de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV) permite el desarrollo de distintas misiones que van desde sectores de la defensa y la seguridad hasta los de la agricultura y el medio ambiente. Es por esto que suscita interés en el diseño y construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado para experimentación con equipos aviónicos. El objetivo específico sería definir las aplicaciones, analizar la carga útil a instalar, adquirir el equipamiento, las partes y materiales necesarios para la construcción y funcionamiento del prototipo del mini Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV), además de diseñar y construir

aeromodelos para desarrollar perfiles aerodinámicos propios. (Pardo et al., 2012, p. 12)

Para la construcción del mini Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) se contempló un proyecto de varias etapas en un principio se analizó la aplicación a implementar en dependencia de los requerimientos y características de la región (seguridad, defensa, agricultura, medioambiente, entre otros) y de esta forma definir la carga útil, el tipo de equipamiento a nivel de sensores, cámaras fotográficas y aviónica en general. (Pardo et al., 2012, p. 12)

En otra etapa se analizó el sistema de navegación a utilizar. Aquí fue importante investigar sobre el tipo de autopiloto que más se ajustara a las necesidades para controlar el sistema de navegación, con mayores ventajas, se analizó la posibilidad de utilizar un autopiloto *Open Source*. Otro elemento de importancia vital es la adquisición de equipos y materiales para la construcción y funcionamiento del mini Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV). En lo referente a la aeronave se tenía previsto diseñar y construir perfiles aerodinámicos propios, teniendo en cuenta los diseños de otros modelos de aviones que serían adaptados a necesidades y realidades. (Pardo et al., 2012, p. 60)



Figura 66. Mini UAV del Proyecto "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental".

El sistema de comunicación también fue analizado en profundidad pues permitió realizar la transmisión de la información del sistema de navegación y la carga útil para obtener información en tiempo real de los sensores, cámaras y *payload* de la aeronave. (Pardo et al., 2012, p. 63)

Con la implementación de este proyecto se contribuyó a la investigación en materia aeronáutica la cual era muy discreta a nivel nacional ayudando al desarrollo de nuevas formas de vigilancia y control ambiental además de otras aplicaciones civiles. Lamentablemente, este proyecto no pasó de aeromodelos puesto que el piloto automático que se había adquirido, no era compatible con el sistema de navegación como GPS y del sistema de comunicación con módulos de radiofrecuencia. Además, el presupuesto que había sido asignado, fue revocado y fijado para otros propósitos de la institución y se suspendió la continuación del proyecto de investigación. (Pardo et al., 2012, p. 70)

#### **4. Capítulo IV Consideraciones técnicas para el desarrollo de Proyectos de Percepción Remota en el Ecuador**

En este capítulo se hace un análisis de los resultados conseguidos en los proyectos de percepción remota desarrollados en el Ecuador, usando metodología exploratoria en gran parte; generando así un proceso de retroalimentación que optimice en el futuro aquellas experiencias y casos exitosos, con el fin de que éstas sean utilizadas en los nuevos proyectos a desarrollar.

Se identifica y describe el diagrama de bloques del sistema de percepción remota empleado por el CIDFAE para la captura y obtención de información de diferente índole.

Es importante mencionar que el acceso a la información ha sido limitado de acuerdo al Art. 18.- Protección de la Información Reservada del Título Tercero de la Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública, dónde se menciona:

“La información clasificada previamente como reservada, permanecerá con tal carácter hasta un período de quince años desde su clasificación [...] El Consejo de Seguridad Nacional, en los casos de reserva por motivos de seguridad nacional y los titulares de las instituciones públicas, serán responsables de clasificar y desclasificar la información [...]”

##### **4.1. Características básicas a considerar en un UAV**

De los proyectos descritos anteriormente, se tomaran factores importantes como base para futuros proyectos. El anexo 8 permite tener una referencia a cada elemento del Sistema UAS.

#### 4.2. Comparación de los sistemas UAV del CIDFAE empleados en el Ecuador.

Tabla 20. Características de los sistemas de percepción remota del CIDFAE

Características	PGA	Proyecto Rayo	UAV-0/UAV-1/UAV-2
Envergadura	12 x 3 metros	4,4 m	(4,4 /5,5 /6,5 ) metros
Autonomía	6-8 horas	7 horas	(7/7 /5) horas
Alcance	50 km	-	150 Km
Techo	300-3000 m	4572 metros	(4572 / 4572 / 4572) metros
Peso Total	20 Kg	15 Kg	136,078
Carga Útil	Hasta 4kg. E/O	60 lb	- Sensor E/O diurno - Sensor E/O diurno infrarrojo - Cámara fotográfica
Velocidad Crucero	100 km	166 Km/h	(150 / 140 / 100) Km/h
Despegue/Aterrizaje	Lanzadera/Red o amerizaje.	90/110 m	130/155 m
Estación de Control en Tierra	Control remoto	Control remoto	- Montado en vehículo para transporte - 3 Módulos de operadores - Interfaz intuitiva y amigable con el usuario - Redundancia de Sistemas
Misión principal	Detección e Identificación.	Detección e Identificación.	Detección e Identificación.

Adaptado de (Dirección de Desarrollo Aeroespacial, s.f.) (Jaramillo, 2009)

Nota: Estas características fueron consideradas en función a la información entregada por la institución dando cumplimiento al Art. 18 de la LOTAIP mencionada al inicio de este capítulo.

De los sistemas aéreos no tripulados resumidos en la tabla 20 es un poco difícil establecer una comparación ya que la información es limitada y ellos fueron desarrollados en diferentes períodos, de los cuales se tomaron experiencias positivas de unos para ser utilizados en otros y cada uno jugó su papel en determinados momentos de la historia.

La Plataforma de Gran Altitud se construyó cumpliendo los objetivos iniciales de su concepción, pero no siguió desarrollándose debido al alto costo que representaba mantenerla en el aire. Este valor ascendía a alrededor de 20.000 USD mensuales. (León, comunicación personal, 2015)

El proyecto Rayo también cumplió con sus objetivos para el momento en que se desarrolló, llegando a un punto de obsolescencia de sus sistemas, por lo que el CIDFAE inició un nuevo proyecto enfocado en los UAV. Así nació el UAV-0 que posteriormente se llamaría Fénix y por último el más actual: el UAV-2 (Gavilán), los cuales son los prototipos más actuales desarrollados en la institución y los que cuentan con la tecnología necesaria y además resultan novedosos.

#### **4.2.1. Importancia de las aplicaciones en apoyo al desarrollo que brindan los sistemas de percepción remota**

Ecuador por sus características es considerado un país especial, notable en el mundo por su variedad de recursos naturales; que cuenta con gran cantidad de bienes estratégicos, reservas ecológicas y áreas reservadas debido a su diversidad. Además, el hecho de que cuente con una zona costera de cara al océano Pacífico, una cuenca amazónica y el cruce de la cordillera de los Andes, hace que el país tenga particularidades climáticas únicas que, generan cambios radicales que se establecen en excesos naturales de agua o ausencia de ella, lo que provocan eventualmente inundaciones o sequías.

Del mismo modo, estas peculiaridades geográficas permiten a las personas habitar junto a volcanes activos que han obligado a que se desarrolle técnicamente su monitoreo; de hecho, el volcán Tungurahua no ha parado su actividad por más de quince años, manteniendo en alerta a la población cercana. Adicionalmente, el país ha pasado por una serie de incendios forestales que han destruido extensas áreas boscosas e incluso han provocado pérdidas humanas; hechos que han demostrado que no se cuenta con la preparación suficientemente para afrontar este tipo de eventos.

Por esta razón, el desarrollo alcanzado por el CIDFAE en proyectos de sistemas de percepción remota permite visualizar una serie de servicios proporcionados que cubren una amplia gama de áreas, según se muestra en la tabla 21:

Tabla 21. Servicios en apoyo al desarrollo que brindan los sistemas de percepción remota.

Descripción	Aplicaciones en apoyo al Desarrollo	Equipo
Fotografía Aérea en plano horizontal sobre rutas preestablecidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilancia y reconocimiento para soberanía energética y seguridad hidrocarburífera.</li> <li>• Gestión de crisis originadas por desastres naturales, como inundaciones o terremotos.</li> <li>• Servicios forestales: seguimiento de las áreas boscosas, control de incendios.</li> <li>• Control de obras y evaluación de su impacto. Reconocimiento de áreas de desastres naturales.</li> </ul>	UAV-0 /UAV-1 /UAV-2
Video desde el aire con georeferenciación selección e identificación de objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilancia y reconocimiento para soberanía energética y seguridad hidrocarburífera.</li> <li>• Vigilancia aérea de recursos estratégicos.</li> <li>• Rápida detección de incendios y seguimiento de su evolución</li> <li>• Patrulla de fronteras y control de narcotráfico.</li> </ul>	UAV-1 /UAV-2
Video infrarrojo con georeferenciación para la ubicación de blancos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilancia y reconocimiento para soberanía energética y seguridad hidrocarburífera.</li> <li>• Vigilancia aérea de recursos estratégicos.</li> <li>• Rápida detección de incendios y seguimiento de su evolución</li> <li>• Patrulla de fronteras y control de narcotráfico.</li> <li>• Búsqueda de víctimas en desastres naturales.</li> </ul>	UAV-2

Tomado de (Departamento de Difusión CIDFAE, 2014, pp. 20-21)

Por otra parte, el Ecuador está situado en una región flagelada por el narcotráfico, el contrabando, la migración ilegal, la extracción ilegal de minerales, entre otros problemas de la época. Toda esta situación lleva a reflexionar sobre la importancia de contar con nuevas herramientas de levantamiento de información, que faciliten la toma de decisiones en una forma oportuna, precisa y eficiente.

En países como Japón y EEUU, se utilizan con gran eficacia los sistemas aéreos no tripulados. Por ejemplo, en Japón se vuelan al menos 10.000 aeronaves no tripuladas en tareas de agricultura. (Armas, 2014, p. 7)

De igual manera como la gran mayoría de los descubrimientos tecnológicos, inicialmente se diseñaron para la Defensa, posteriormente formaron parte de las áreas civiles, el caso de los sistemas aéreos no tripulados va por la misma ruta; el uso comercial está por incorporar sistemas más avanzados, que todavía están destinados únicamente a la supervisión y vigilancia de los límites fronterizos.

La dificultad de su extensión no es tecnológica sino de marco regulatorio a la utilización, pues existe un problema aún sin solución y es el modo de interactuar entre la aviación tripulada y la no tripulada. Algunos países trabajan en la adaptación de sus legislaciones del uso del espacio aéreo para posibilitar el vuelo controlado de estos sistemas, en un entorno de seguridad y confiabilidad. (Jaramillo, 2014, pp. 25-28)

Se han realizado análisis que demuestran que la utilización racional de estos sistemas beneficiará el desarrollo social y la seguridad del país. Comenzando con el uso de sensores apropiados se pueden desplegar aplicaciones de monitoreo y vigilancia lineal, aplicable a líneas de transmisión eléctrica, canales, entre otros. (Jaramillo, 2014, pp. 25-28)

La detección de contaminación ambiental, incendios y otros permiten aplicar respuestas acertadas, optimizando los recursos y reduciendo las posibilidades de deteriorar el medio ambiente.

Entre las ventajas de los sistemas aéreos no tripulados está el contar con la posibilidad de disponer de la información en tiempo real, con la que se podría formar una base de datos nacional; para su aprovechamiento institucional. Los sistemas no tripulados podrían trabajar en la gestión de riesgos, obteniendo información oportuna para la ejecución de acciones apropiadas de los equipos de trabajo, levantando una red de comunicaciones en las zonas afectadas.

Además, la agricultura podría beneficiarse de estas herramientas, al disponerse de plataformas aéreas de bajo costo para el monitoreo y levantamiento de la información oportuna para el seguimiento de los cultivos, control de plagas, señalización e inventario. En los municipios se podrían emplear estas aplicaciones en la actualización de catastros y geoinformación útil para la planificación y control urbano y rural. El control del medio ambiente, la investigación científica, el monitoreo de parámetros climáticos, podrían ser otras de las aplicaciones a emplearse. La información nunca antes obtenida podría ser empleada por los medios de comunicación para su difusión.

El uso de los aviones no tripulados a diferencia de las aeronaves convencionales, es que éstos pueden utilizarse en misiones en las cuales se encuentren expuestos a ambientes contaminados y de riesgo, por el hecho de que no cuentan con tripulación. En el Ecuador, este tipo de vehículos aéreos podrían ser utilizados para monitorear el Cotopaxi precisamente cuando está en proceso de erupción.

Las aplicaciones de los sistemas aéreos no tripulados en todo el mundo no encuentran límites, y el Ecuador, por la situación especial que presenta, obtendría formidables beneficios con el empleo de estos sistemas.

En la actualidad las universidades del Ecuador juegan un papel muy importante en el desarrollo del país, al tener como misión contribuir a su economía, a través de la educación, investigación y transferencia de tecnología, las políticas actuales del gobierno nacional financian proyectos de investigación científica e innovación tecnológica, con el objetivo de fortalecer áreas estratégicas para el desarrollo del país, en donde las instituciones beneficiarias son centros de Investigación y Desarrollo Civiles y Militares, Universidades y Escuelas Politécnicas.

En este nuevo ámbito el CIDFAE viene orientando sus esfuerzos para desarrollar Investigación y Desarrollo en columnas fundamentales:

- La experiencia y profesionalidad adquirida por oficiales y técnicos aéreos con estudios de 3er y 4to nivel del Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE en el campo de la aeronáutica.
- Los contenidos, sabiduría y misticismos de trabajo en las áreas de la Investigación y Desarrollo de la Escuela Politécnica Nacional y la Universidad Técnica de Ambato, quienes armonizan la formación académica con la puesta en práctica en la resolución de retos reales.
- El potencial actual y voluntad de incrementar sus capacidades de la empresa privada en favor de los proyectos de innovación que se desarrolla en el CIDFAE.

Al considerar estas columnas, es preciso plantear una estrategia en donde prime la innovación que dé la importancia que se merece al talento humano. Este debería ser visto como el capital que genera calidad, al usar tecnología extranjera que contribuya en el desarrollo investigativo y creativo nacional, con el propósito de agregar valor al proceso, al combinar las funciones creativas, de transferencia y explotación del conocimiento que le permitan al Ecuador ser competitivo y demostrar que cuenta con valiosos profesionales que usan su sentido crítico al crear.

Además, es preciso que se tome en cuenta que la ciencia va de la mano de la investigación y que la unión de saberes y experiencias por parte de instituciones como CIDFAE, EPN y UTA permitirá el emprendimiento de proyectos multidisciplinarios, generando actitudes proactivas que contribuyen a la generación, transferencia y explotación del conocimiento con el fin de aportar con criterios científicos que se verían plasmados en la creación de prototipos que resultarían útiles para la comunidad, al tomar en cuenta que la investigación, sin lugar a dudas promueve el desarrollo .

### 4.3. Diagramas de Bloques

El CIDFAE en su amplio desarrollo de vehículos aéreos no tripulados, que van desde la PGA hasta el UAV-2 ha puesto en práctica sistemas de muy novedosa creación, en su mayoría desarrollados en sus propias instalaciones. Muchos de estos sistemas están representados por diagramas de bloques que relacionan a continuación.

#### 4.3.1. Diagrama de sensores múltiple de iMote2

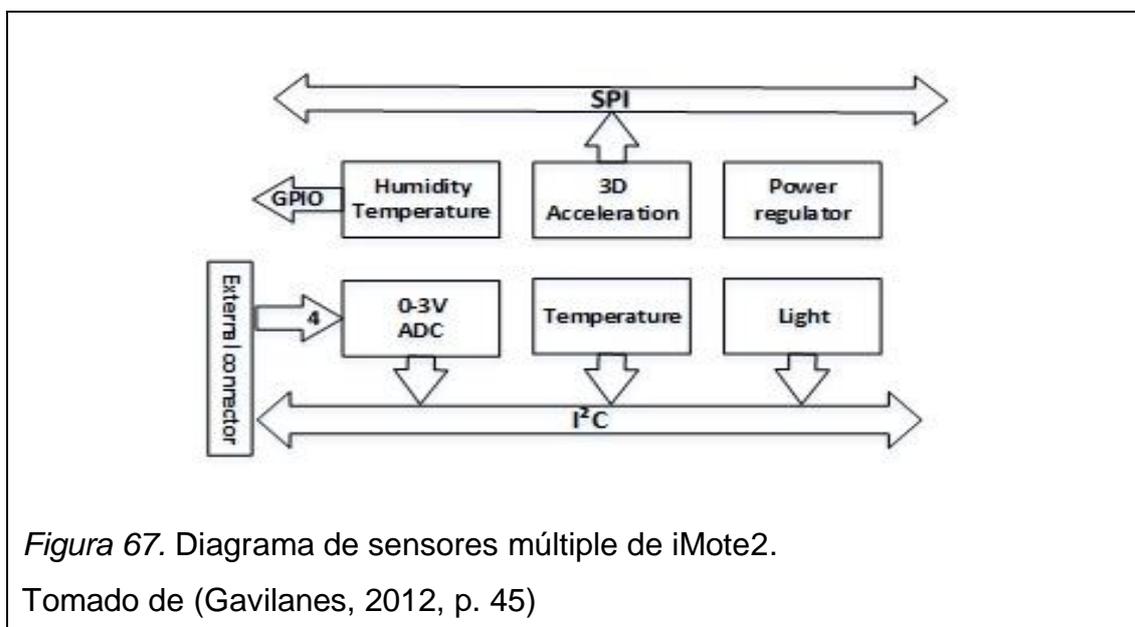


Figura 67. Diagrama de sensores múltiple de iMote2.

Tomado de (Gavilanes, 2012, p. 45)

El diagrama de sensores utilizado en la PGA basado en iMote2 tenía la ventaja de que al ser un *hardware* embebido comercial ahorra tiempo en la implementación del sistema, pero tenía la desventaja de que perdía flexibilidad ya que no se podían hacer adaptaciones de nuevos sensores al procesador principal. (Gavilanes, 2012, p. 45)

#### 4.3.2. Diagrama de bloques del Sistema de transmisión inalámbrica

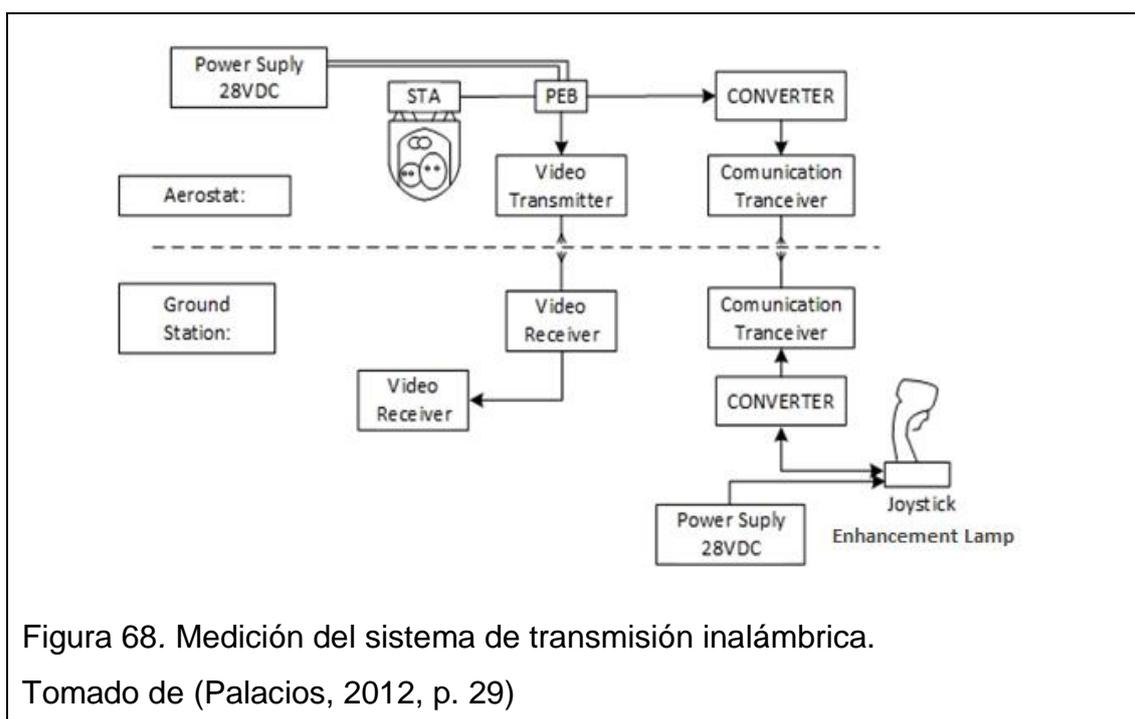


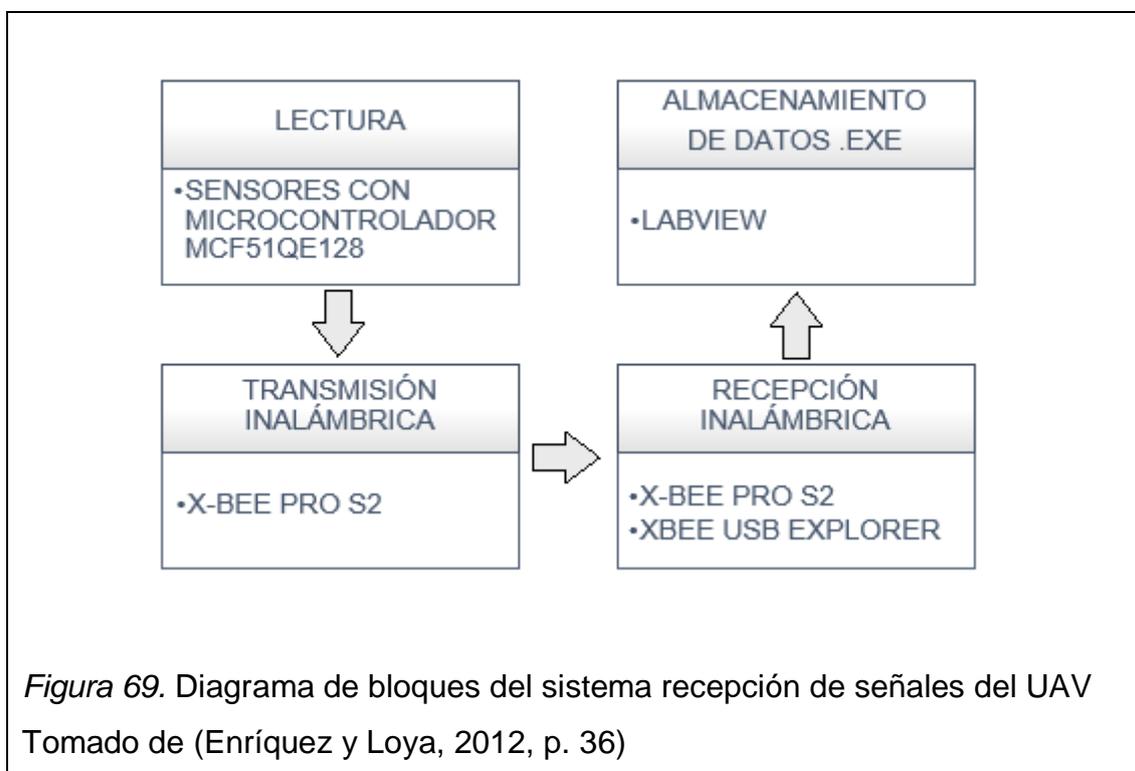
Figura 68. Medición del sistema de transmisión inalámbrica.

Tomado de (Palacios, 2012, p. 29)

En la figura 68 se muestra como funciona el sistema de comunicación inalámbrico que se utiliza para la comunicación entre la aeronave y el EMCT. Una vez que el operador de la EMCT emite una orden de captura fotográfica o una toma de video en tiempo real, la información es procesada por la CU convertida por los medios de transmisión de la EMCT y recibida por la aeronave.

Después que la convierte es interpretada por la unidad de procesamiento, la cual ordena a la aeronave realizar la función requerida, la que es retroalimentada con la información solicitada desde tierra.

### 4.3.3. Diagrama de bloques del sistema recepción de señales del UAV

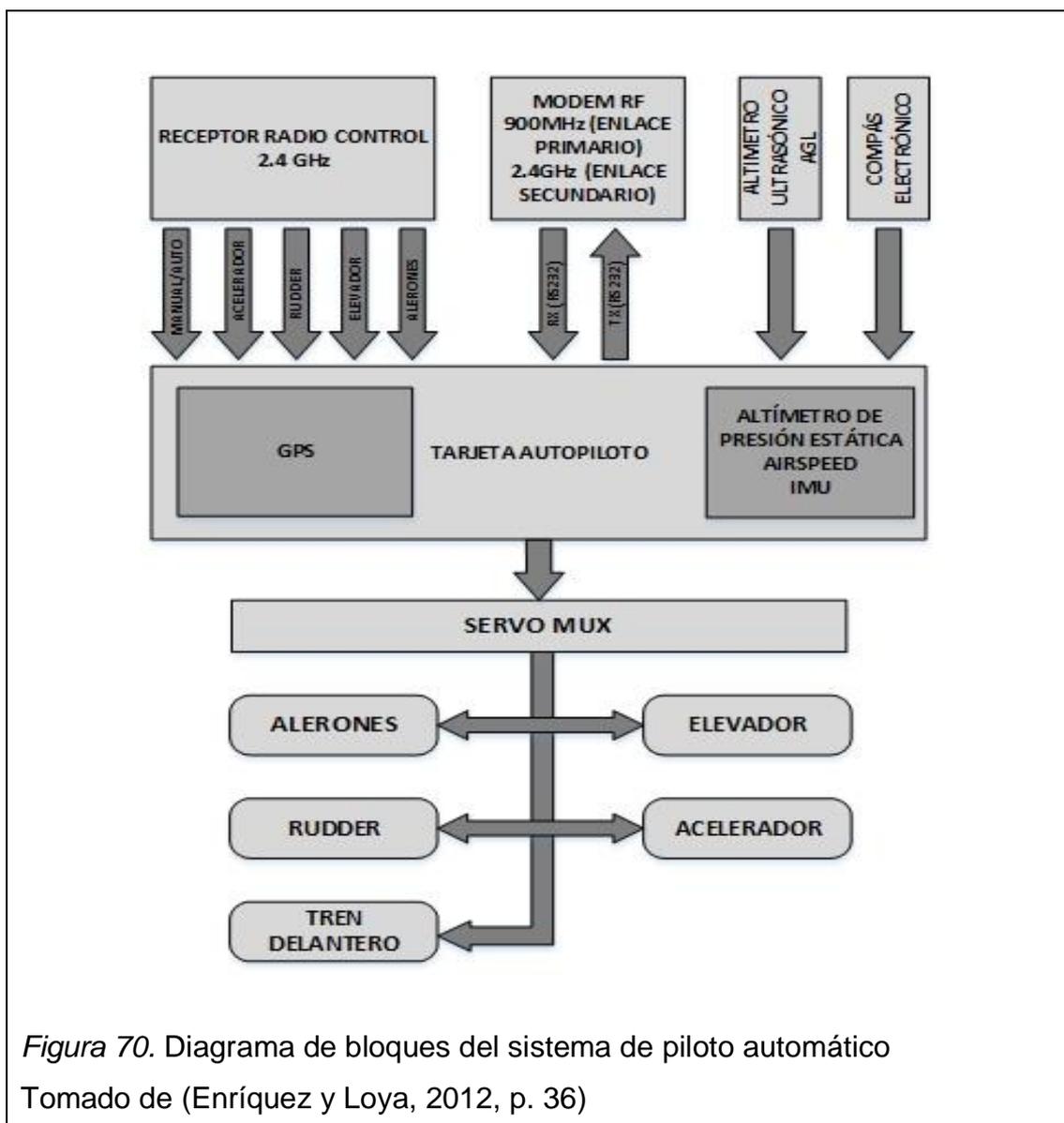


La información generada por los sensores de la aeronave es transmitida a través de los enlaces inalámbricos presentes en la aeronave y receptados de igual manera en estación de control en tierra.

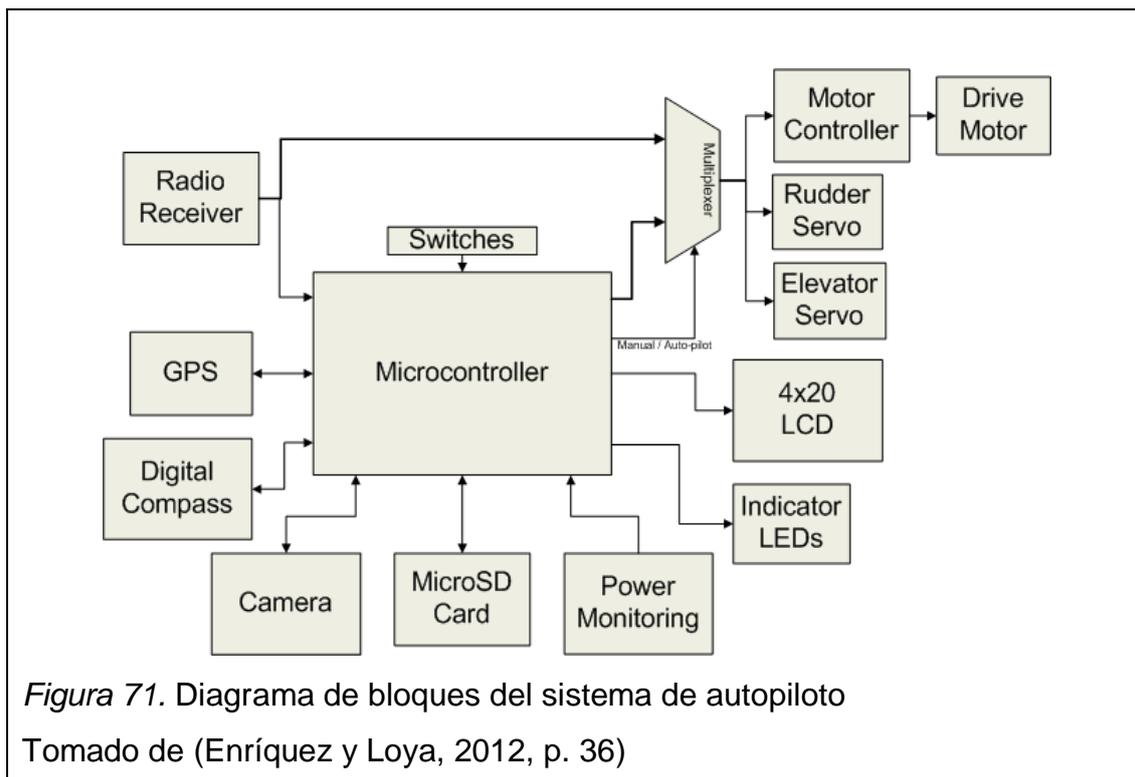
### 4.3.4. Diagrama de bloques del sistema de autopiloto

Según se muestra en los diagramas siguientes, el autopiloto puede controlar todas las superficies de vuelo de la aeronave. Tiene conexión directa con un receptor de radiocontrol el cual le permite cambiar de modo manual a automático y viceversa y de esta forma recuperar el control de la aeronave en cualquier momento.

La siguiente figura muestra un diagrama de bloques del sistema de piloto automático:



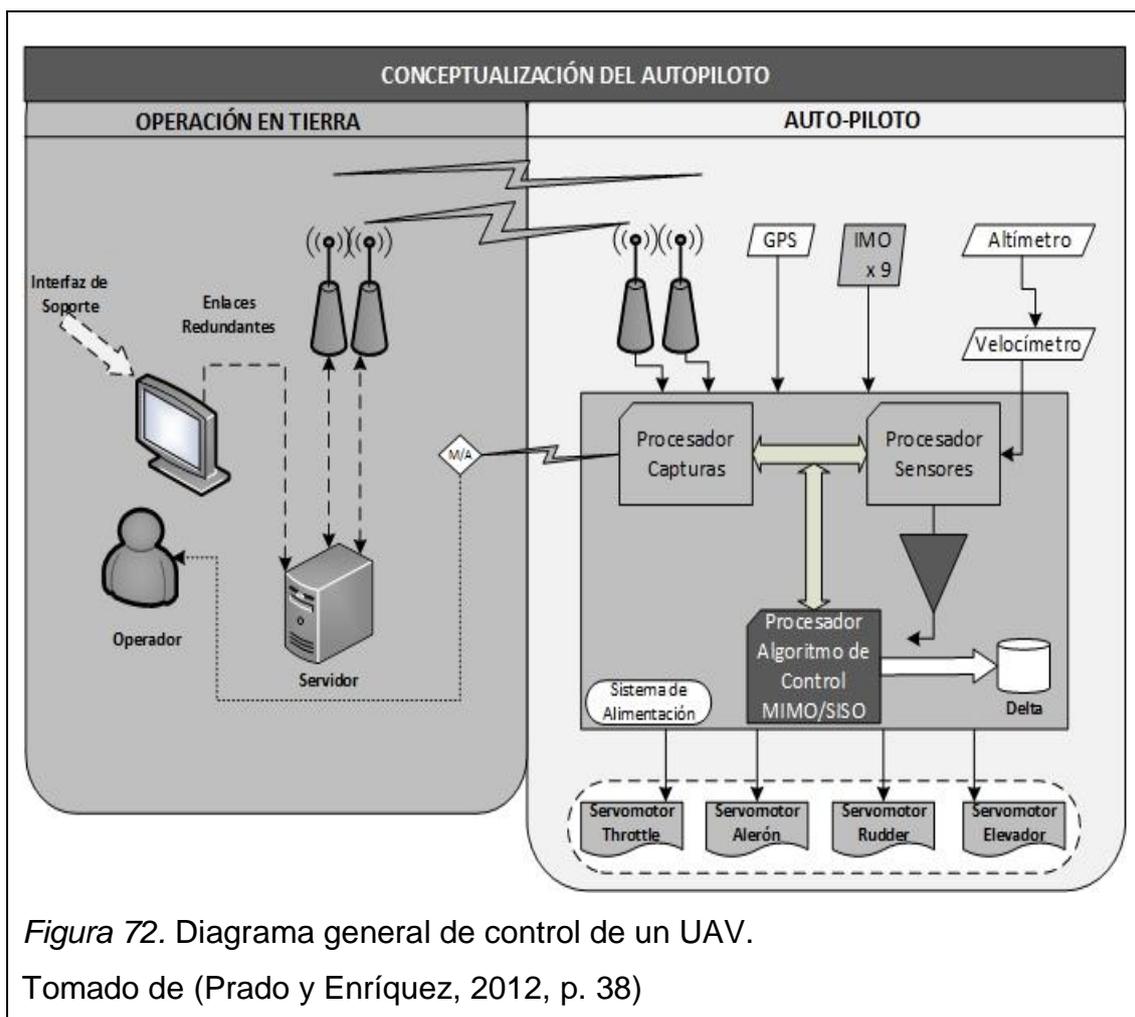
Todas las señales que se generen son procesadas en la tarjeta principal de control, donde se analizan y las decisiones se envían a los actuadores para controlar el avión. En este caso los actuadores serían los servomotores que controlan en su totalidad a la aeronave, es decir, alerones, elevador, rudder, tren de aterrizaje delantero y control de acelerador del motor.



#### 4.3.5. Diagrama de bloques del control para la estabilización de un UAV

El diagrama de solución para la estabilización de una aeronave no tripulada en función de una plataforma no inercial está planteado bajo condiciones de velocidad y precisión del movimiento de los planos de la aeronave como se muestra en la figura 72.

Adicionalmente, se incluye información de entrada y salida para la identificación de la planta, la planta toma distintos valores en dependencia de como se lo plantee al control por lo que las características se han identificado como independientes y vinculadas a la navegación en sí misma.



#### 4.3.6. Diagrama de bloques para el control de Heading

En el diagrama de la figura 73 se muestra la estructura de control para la estabilización de cualquier plano. En este caso en específico solo se aplica al control de *Heading* (Cabeceo), cuya retroalimentación está dada por la plataforma inercial y su *setpoint* variable de 1s está dado por el cálculo de azimut de acuerdo con la ley de *Harvsine*. (Prado y Enríquez, 2012, p. 38)

Se puede observar que el polo adicional que se incrementa en el sistema da retardo en la acción integral, pero beneficia en el momento de la acumulación del error. Este incremento no perjudica a la estabilización ya que la reacción del sistema no debe ser tan rápida. (Prado y Enríquez, 2012, p. 38)

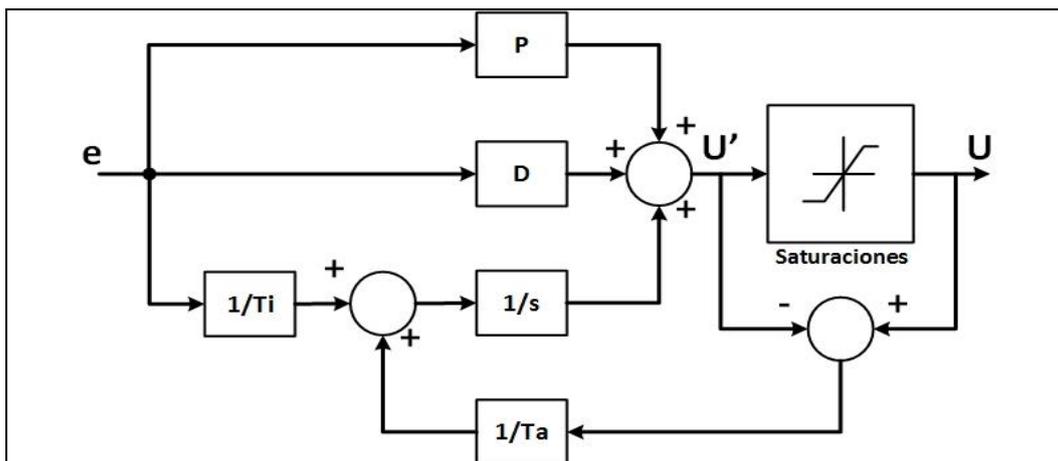


Figura 73. Diagrama de bloques para el control de Heading.  
Tomado de (Prado y Enríquez, 2012, p. 38)

#### 4.3.7. Diagrama de bloques para el control de Altura

En el diagrama de la figura 74 se puede observar como las tres señales de referencia ingresan al control MIMO (Sistema de varias entradas y varias salidas), de tal manera que las tres señales convergen en el control y por ende en el sistema a ser controlado. Dentro de las variables de salida se toma la variable que interesa la cual es la altura. (Prado y Enríquez, 2012, p. 41)

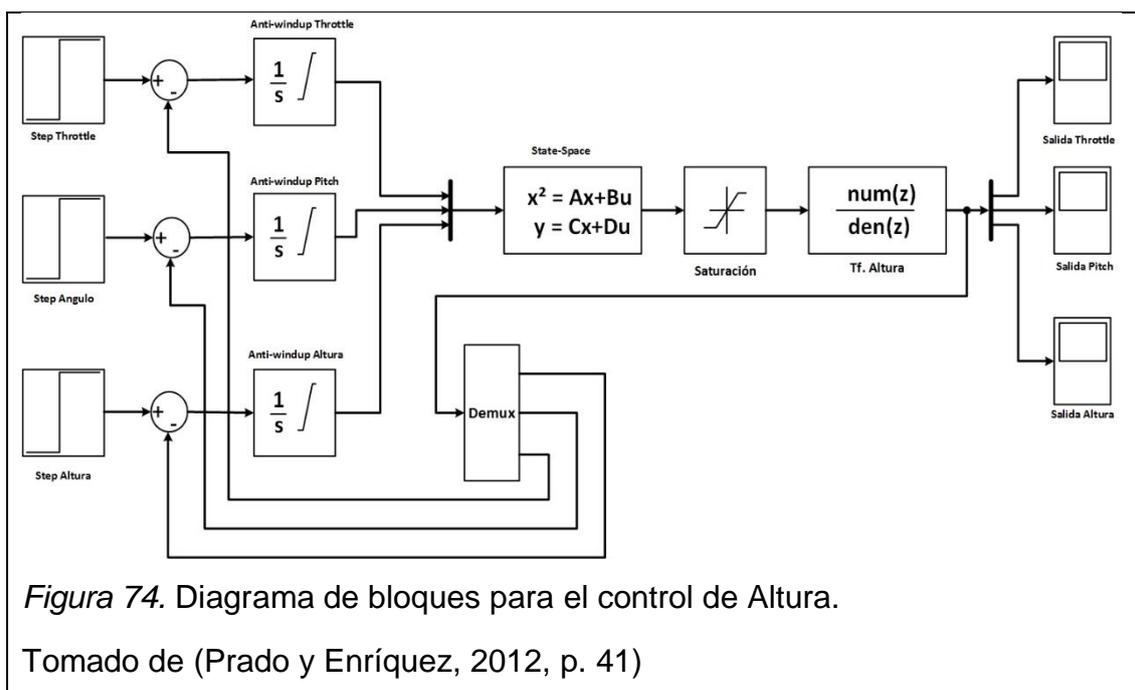


Figura 74. Diagrama de bloques para el control de Altura.  
Tomado de (Prado y Enríquez, 2012, p. 41)

#### 4.3.8. Diagrama de bloques del sistema de energía de un UAV

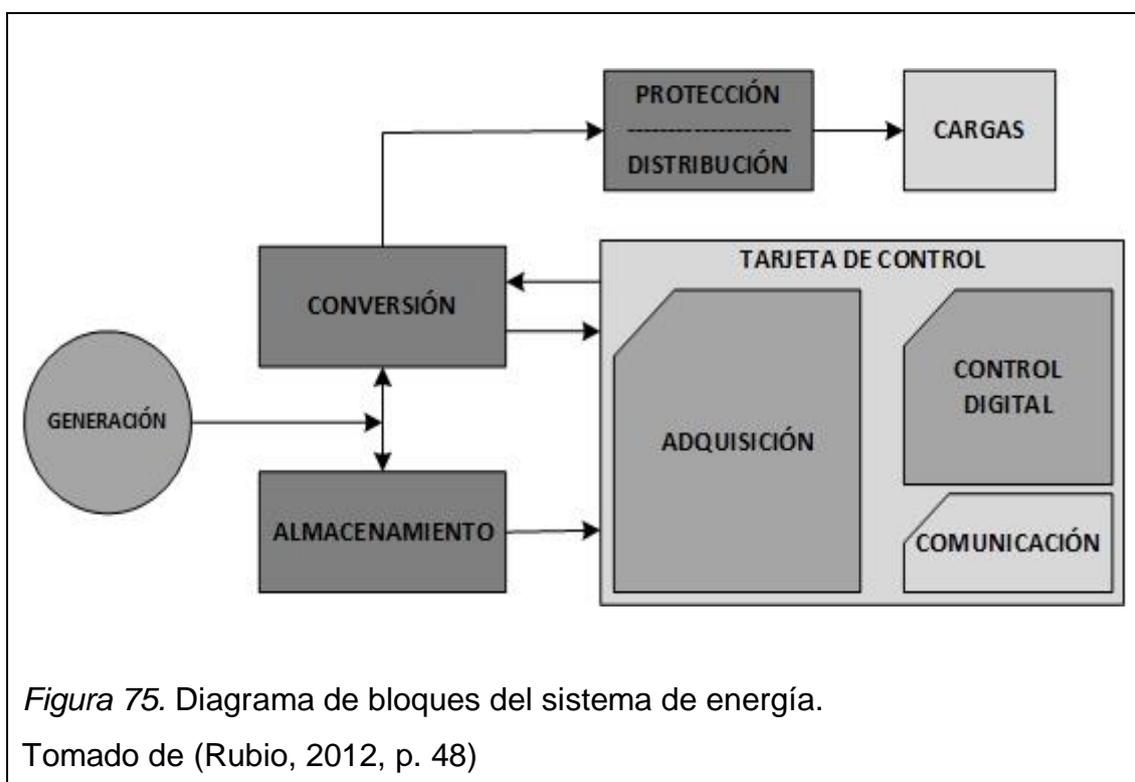


Figura 75. Diagrama de bloques del sistema de energía.

Tomado de (Rubio, 2012, p. 48)

En el diagrama de la figura 75 se puede observar como la energía generada es convertida y almacenada para su utilización. La energía es supervisada y distribuida eficientemente a las cargas por el sistema de control automático de la aeronave.

#### 4.3.9. Diagrama de Bloques de un Sistema de Percepción Remota utilizado en Ecuador

En el diagrama a continuación se representan los módulos fundamentales de un sistema de percepción remota en el cual se muestra la dirección del flujo de información entre sus subsistemas. El módulo de procesamiento a través de los puertos de comunicación que acciona sobre los servos de la aeronave y los sistemas de comunicación. La comunicación es serial con protocolo RS232 hacia y desde el módulo de procesamiento.

Puertos de comunicación asignados a los diferentes sistemas:

- Port 1 – GPS Sistema de posicionamiento global.
- Port 2 – AHRS Sistema de referencia de actitud y rumbo – Dan las indicaciones necesarias para establecer la ruta que va a seguir y el comportamiento (movimientos) de la aeronave.
- Port 3 – Indicadores de actitud de aeronave – Altímetro, velocidad de aire, tacómetro, ángulo de ataque (AoA), ángulo de deslizamiento lateral (AoS), Aterrizaje.
- Port 4 – Director o controlador de servos, permite gobernar los movimientos de los servos.
- Port 5 – Transmisor inalámbrico – envía información de actitud y aptitud de la aeronave al control de tierra
- Port 6 – Control de 2 ejes para el movimiento del sensor (cámara) a bordo.

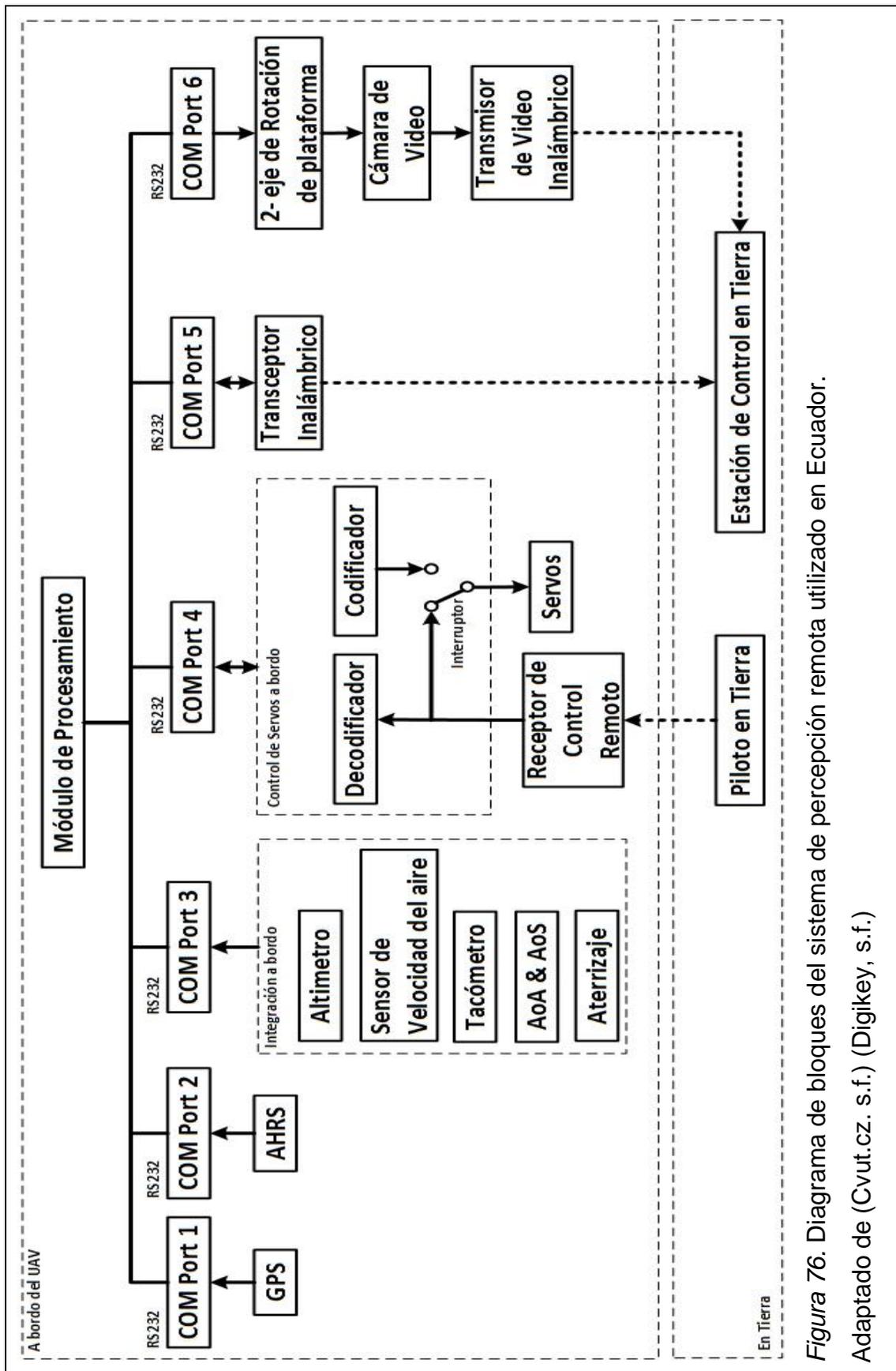


Figura 76. Diagrama de bloques del sistema de percepción remota utilizado en Ecuador. Adaptado de (Cvut.cz. s.f.) (Digikey, s.f.)

## 5. Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

La información relacionada con el estado del arte de la percepción remota en el Ecuador es limitada, porque se considera susceptible por las instituciones que han tenido a cargo su investigación y desarrollo.

Se identificó que la percepción remota aérea es el proceso que permite obtener información con sensores a bordo de diversas plataformas como aeronaves, globos, aviones, helicópteros, Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV), y otras. Que la misma puede ser usada para el análisis de todo tipo de recursos naturales, estudios de aproximación, relieve y cartografía en sectores permitidos; siempre y cuando se encuentren dentro de las disposiciones complementarias que norman la operación de los sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) o conocidas como drones o Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS), establecido por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC).

Los principales componentes de los sistemas de percepción remota que se han desarrollado en el Ecuador son: la Estación de Control, la Carga Útil, el Vehículo Aéreo, el Sistema de Navegación, el Sistema de Lanzamiento y Recuperación, el Sistema de Comunicaciones, las Interfaces de Sistemas, el Equipo de Soporte y por último el Equipo de Transporte.

Las principales características técnicas y operativas de los sistemas de percepción remota son: la estación de control en el centro donde la misión de un UAV es planeada y controlada; la carga útil depende exclusivamente del propósito del proyecto (combinaciones de sensores, cámaras de video, cámaras termales y sistemas de radares); el vehículo aéreo determinado por las necesidades operativas de la misión; el sistema de navegación que permite a los operadores conocer la ubicación exacta de la aeronave en cualquier momento, incluso si se trata de un vuelo realizado con piloto

automático; el equipo de lanzamiento y recuperación es necesario para lograr el despegue y que permita aterrizar sobre un terreno, este por lo general consta de un paracaídas; el sistema de comunicaciones para proveer los enlaces de datos, tanto de subida como de bajada entre el UAV y la estación de control: las interfaces de sistemas que permiten que todos los elementos que forman un UAV incluyendo los subsistemas de operación trabajan juntos para lograr un desarrollo apropiado del UAS; el equipo de soporte incluye desde manuales de operación y mantenimiento, hasta herramientas y repuestos para equipos de pruebas especiales y fuentes de alimentación y finalmente el equipo de transporte, siempre que un UAV necesite movilización o transporte, sus subsistemas también deberán ser considerados.

En el Ecuador han operado varios proyectos entre los que se encuentran los desarrollados por el CIDFAE: (1) "Rayo" RPV Cotopaxi, (2) Plataforma de Gran Altitud, (3) Proyectos UAV-0 (Fénix), UAV-1 (Halcón) y UAV-2 (Gavilán), de los cuales solo se encuentran en operación los UAV. En el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, actual Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se comenzó un Proyecto de Innovación Tecnológica "Construcción de un mini vehículo aéreo no tripulado con sistemas de aviónica experimental" con el fin de ser revisado y aprobado por el Rectorado, este proyecto no llegó a terminarse por falta de presupuesto. La empresa privada Aeroseed SKY ha ido desarrollando desde mayo de 2015 un UAV considerado como una plataforma multipropósito, capaz de soportar una cámara NIR, una cámara multiespectral o una cámara térmica, dependiendo del tipo de información que se espera capturar.

Las características fundamentales de los diagramas de bloques funcionales de los sistemas de percepción remota en el Ecuador responden a cada subsistema en específico, que representan una o varias funciones dentro del sistema, las cuales están definidas en algoritmos y esquemas funcionales. Uno de los fundamentales es el del autopiloto el cual puede controlar todas las superficies de vuelo de la aeronave, tiene conexión directa con un

receptor de radiocontrol el cual le permite cambiar de modo manual a automático y viceversa y de esta forma recuperar el control de la aeronave en cualquier momento. Todas las señales que se generen son procesadas en la tarjeta principal de control, donde se analizan y las decisiones se envían a los actuadores para controlar el avión.

La importancia y beneficio de los proyectos de percepción remota desarrollados en Ecuador está dado porque con la utilización de estos sistemas se beneficiará el desarrollo social y la seguridad del país, permitiendo contar con detalles de la superficie terrestre en menor escala que la imagen satelital, siendo muy útil para trabajos en áreas reducidas. Puede ser usada también, en objetivos que involucren condiciones ambientales dinámicas como inundaciones, actividad volcánica, incendios forestales, tráfico, búsqueda ictiológica, etc. Permite diseño y rediseño de planes de trabajo de acuerdo a necesidades como relieves o perfiles cartográficos, debido a que se pueden implementar varios tipos de sensores en una misma plataforma usada, reduciendo así costos y tiempos de ejecución.

## **5.2. Recomendaciones**

Dar un uso más activo a los sistemas de percepción remota desarrollados en Ecuador UAV, en razón de que pueden ser usados en varias áreas como seguridad, medio ambiente, salud, control de plagas, entre otros.

Definir el marco regulatorio de uso de los sistemas de percepción remota en el Ecuador, con la finalidad de evitar conflictos de operación entre la aviación tripulada y la no tripulada, cuando éstos estén en auge, que posibiliten el vuelo controlado de estos sistemas, en un entorno de seguridad y confiabilidad.

Fomentar una cultura de uso racional de estos sistemas con el apoyo de sensores y termografía para el monitoreo y vigilancia lineal, aplicable a líneas

de transmisión eléctrica, canales, la detección de contaminación ambiental y puntos calientes de emisiones al medio, monitoreo de parámetros climáticos e incendios. Establecer una completa disponibilidad de los sistemas no tripulados para monitorear el curso y nivel de ríos, actividad volcánica, como un medio de apoyo al manejo de riesgos al vigilar incidentes que pudieren provocar sequías, inundaciones, caída de ceniza; así como en la búsqueda de personas perdidas.

Realizar un proyecto en el que se universalicen aplicaciones de tratamiento a la fotografía multiespectral formando una base de datos nacional, la cual sería muy útil para su aprovechamiento institucional, en las producciones agrícolas para el monitoreo y el seguimiento de los cultivos, control de plagas, monitoreo y conducción de manadas de animales, control de pesca, protección de recursos ictiológicos, entre otros.

Proponer la ejecución de un proyecto estudiantil que desarrolle una aplicación que se pueda emplear a nivel nacional en la actualización de catastros y geoinformación útil para la planificación y control urbano y rural.

Proponer la utilización de estos sistemas para el monitoreo y control de tránsito en las ciudades por parte de las agencias de tránsito.

## Referencias

- Aeromundomag. (s.f.). *El Proyecto de Aeronaves No Tripuladas (UAV) de la Fuerza Aérea Ecuatoriana*. Recuperado el 2 de febrero de 2016 de <http://www.aeromundomag.com/el-proyecto-de-aeronaves-no-tripuladas-uav-de-la-fuerza-aerea-ecuatoriana/>
- ArcGIS Resources. (s.f.). *¿Qué son los datos LIDAR?* Recuperado el 15 de agosto de 2015 de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//015w00000041000000>
- Ardupilot. (s.f.). *Ardupilot Autopilot Suite*. Recuperado el 7 de marzo de 2016 de <http://ardupilot.org/ardupilot/index.html>
- Argentinaforo. (s.f.). *TECNAM MRI*. Recuperado el 12 de febrero de 2016 de <http://interdefensa.argentinaforo.net/t9894-tecnam-mri>
- Armas, P. (2012). Modernización de la aeronave RPV Cotopaxi del Proyecto “Rayo” en el Proyecto UAV FAE. *Aeroespacial: Investigación y Desarrollo*, 3, 15 - 19.
- Armas, P. (2014). Sistemas de Producción: de lo tradicional a lo automatizado. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 4, 7-9.
- Armas, P., & Narváez, R. (2006). *Diseño y simulación virtual de un mecanismo de arranque y soportes para el equipo de apoyo del proyecto RPV Cotopaxi*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ingeniería Mecánica, Sangolquí.
- Asifunciona. (s.f.). *Así funciona el avión*. Recuperado el 1 de abril de 2016 de [http://www.asifunciona.com/aviacion/af\\_avion/af\\_avion3.htm](http://www.asifunciona.com/aviacion/af_avion/af_avion3.htm)
- Austin, R. (2010). *Unmanned Aircraft Systems: UAVS design, development and deployment* (1° ed.). United Kingdom: Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Baca, M. (2012). Diseño conceptual de Aeronaves no tripuladas. *Aeroespacial: Investigación y Desarrollo*, 3, 7-14.
- Bense, T. (2007). *Teledet*. Recuperado el 12 de mayo de 2015 de <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/imagenes-satelitales-tutorial.htm>

- Brandt, S., Stiles, R., Bertin, J., y Whitford, R. (2004). *Introduction to Aeronautics: A Design Perspective* (2° ed.). Reston, Virginia, Estados Unidos: AIAA Education Series.
- Clot, A. (2000). *"Communications Command an Control," Remote Services Ltd.* Middlesex, UK.
- Congreso Nacional del Ecuador. (2004). *Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información*. Quito, Ecuador: Congreso Nacional del Ecuador.
- Controp. (s.f.). *CONTROP Precision Technologies Ltd*. Recuperado el 23 de marzo de 2016 de <http://www.controp.com/category/products/>
- Cortez, A. (s.f.). *Apuntes de Clases de Teledetección Espacial. Capítulo III. Clasificación de Sensores Remotos*. Recuperado el 7 de enero de 2016 de <https://es.scribd.com/doc/38632264/Clasificacion-Sensores-Remotos#scribd>
- Cotsjournalonline. (s.f.). *Cotsjournalonline, The Journal of Military Electronics & Computing*. Recuperado el 13 de marzo de 2016 de <http://www.cotsjournalonline.com/articles/view/101449>
- Crossbow, I. (2007). *Builder kit Manual, "Imote2 Hardware Reference Manual", Revision A*. Recuperado el 28 de marzo de 2016 de <http://manualzz.com/doc/7070692/imote2.builder-kit-manual>
- Cvut.cz. (s.f.) *Control System Architecture*. Recuperado el 14 de abril de 2016 de [http://rtime.felk.cvut.cz/helicopter/control\\_system\\_architecture](http://rtime.felk.cvut.cz/helicopter/control_system_architecture)
- Digikey. (s.f.) *Sensors for Unmanned Avionics Systems*. Recuperado el 14 de abril de 2016 de <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2014/apr/sensors-for-unmanned-avionics-systems>
- De la Parra, B. (s.f.). *¿Qué es un flight control?* Recuperado el 2 de abril de 2016 de <https://uavtualidad.wordpress.com/2014/05/11/que-es-un-flight-control/>
- De La Parra, B. (s.f.). *Partes de un UAV*. Recuperado el 15 de marzo de 2016 de <https://uavtualidad.wordpress.com/2014/05/04/partes-de-un-uav/>
- Departamento de Difusión CIDFAE. (2014). Proyección de servicios en Sistemas No Tripulados. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 4, 20-21.

- Department of the Navy. (1993). *UAV Company Operations*. Washington D.C.: United States Marine Corps.
- Dirección de Desarrollo Aeroespacial. (s.f.). *Desarrollo Aeroespacial*. Recuperado el 3 de diciembre de 2015 de <http://www.dda.gob.ec/images/cidfae1.pdf>
- Dirección de Desarrollo Aeroespacial. (s.f.). *Proyectos CIDFAE*. Recuperado el 17 de noviembre de 2015 de <http://www.dda.gob.ec/index.php/noticias/8-imagenes-dda/33-descargas>
- Dronesdelsur. (s.f.). *Ecuador*. Recuperado el 17 de marzo de 2016 de <http://dronesdelsur.org/industria/ecuador/>
- Enríquez, V., & Loya, H. (2012). Sistema de guiado, navegación y control automático de un UAV. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 30-36.
- Exa. (s.f.). *La historia del Ecuador al espacio*. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de <http://exa.ec/historia.htm>
- Fernández, E., y Prieto, I. (2013). Los procesos colmatantes en dispositivos de gestión de la recarga de acuíferos y empleo de la termografía para su detección y estudio. Un ensayo metodológico en el acuífero “Los Arenales”. Recuperado el 12 de marzo de 2016 de <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/component/content/article/149-sitio/articulos/cuarta-epoca/6501/760-6501-5-fernandez>
- Fernández, R., Ordieres, J., Martínez de Pisón, F., González, A., Alba, F., Lostado, R., y Pernía, A. (2009). *Redes inalámbricas de sensores, teoría y aplicación práctica*. Logroño, España: Universidad de la Rioja.
- Fuerza Aérea Ecuatoriana. (s.f.). *Fuerza Aérea Ecuatoriana*. Recuperado el 12 de febrero de 2016 de [http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=124&Itemid=493](http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/site/index.php?option=com_content&view=article&id=124&Itemid=493)
- Gardner, S. (2009). *Trends in Communications Systems for ISR UAVs*. Recuperado el 16 de marzo de 2016 de <http://www.milsatmagazine.com/story.php?number=893938022>
- Gavilanes, G. (2012). Sistema de Instrumentación para una Aeronave más Liviana que el Aire. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 44-46.

- Gómez, F., Damas, M. y Prieto, A. (2007). *Redes de sensores inalámbricos y monitorización de señales biométricas*. Recuperado el 25 de marzo de 2016 de [http://atc.ugr.es/pages/personal/propia/alberto\\_prieto/conferencias\\_pdfs/evia\\_aal\\_tecnologia\\_sevilla\\_dic\\_2007/!](http://atc.ugr.es/pages/personal/propia/alberto_prieto/conferencias_pdfs/evia_aal_tecnologia_sevilla_dic_2007/)
- González, F., Ruiz, J. y Acosta, F. (2014). *Tutorial de Teledetección Espacial*. Recuperado el 6 de agosto de 2015 de [http://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/ES\\_TUTORIAL\\_COMPLETO.pdf](http://www.grss-ieee.org/wp-content/uploads/2014/07/ES_TUTORIAL_COMPLETO.pdf)
- Guevara, D., y Mayorga, F. (2012). Estación de control de tierra para vehículos aéreos no tripulados usando Software de código abierto. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 59-62.
- Hanley Innovations. (s.f.). *Hanley Innovations*. Recuperado el 1 de Marzo de 2016, de <http://www.hanleyinnovations.com/3dfoil.html>
- Hanley Innovations. (s.f.). *MultiSurface Aerodynamics and 3DFoil*. Recuperado el 26 de enero de 2016 de <http://www.hanleyinnovations.com/3dfoil.html>
- Hernández, M. (2010). Metodología para la prospección de agua subterránea utilizando información satelital y datos obtenidos en forma tradicional. *Revista Politécnica*, 1(29), 95-100.
- Hevitop. (s.f.). *Levantamiento topográfico mediante fotogrametría*. Recuperado el 3 de diciembre de 2015 de <http://www.hevitop.com/levantamiento-topografico-mediante-fotogrametria/>
- IEEE.org. (s.f.). *IEEE Std 802.15.4TM -2006 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2003)*. Recuperado el 2 de marzo de 2016 de <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4k-2013.html>
- Institute for Human & Machine Cognition. (s.f.). *Sensores: fundamentos, tipos y características*. Recuperado el 16 de enero de 2015 de <http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2B63T5G-1SLKJ1L-J52/Sensores%20fundamentos,%20tipos%20y%20caracter%C3%ADsticas.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Elementos de la Percepción Remota*. Recuperado el 12 de mayo de 2015 de

- <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx>
- Jara, L. (2012). Enlace de Datos para Sistemas Aéreos no Tripulados. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 20-24.
- Jara, L. (2014). Diseño de la Estación de Control en Tierra (GCS) para el Proyecto UAS. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 4, 13-17.
- Jaramillo, E. (2014). Aplicaciones de los UAS en Apoyo al Desarrollo en el Ecuador. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 4, 25-28.
- Jaramillo, E. (2009). *Desarrollo aeroespacial en la Fuerza Aérea y el Proyecto Plataforma de Gran Altitud*. Recuperado el 18 de febrero de 2016 de [http://www.gear3d.com/--ProyectoPGA--/Joomla/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13:presentacion-del-proyecto&catid=3:noticias&Itemid=2](http://www.gear3d.com/--ProyectoPGA--/Joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=13:presentacion-del-proyecto&catid=3:noticias&Itemid=2)
- López, S. (2008). *Generador de administradores de redes de sensores ZIGBEE*. Recuperado el 13 de noviembre de 2015 de <http://www.eslideshare.net/prownsn/generador-de-administradores-de-redes-de-sensores>
- Martínez, B. (2012). *Modulación de coherencia óptica con dispositivos electro-ópticos con aplicaciones en detección de campos eléctricos*. Universidad de las Américas, Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Puebla.
- Medina, J. (2012). Diseño Estructural Prototipo Halcón. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 35-65.
- Nelson, M. (1995). *UAV Mission Planning*. Salisbury, Australia: Information Technology Division Electronics and Surveillance Research Laboratory, DSTO.TR0164.
- Nrcan. (s.f.). *Fundamentals of Remote Sensing*. Recuperado el 23 de agosto de 2015 de [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_e.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). *Capítulo 3. Plataformas de Sensores*. Recuperado el 17 de agosto de 2015 de <http://www.fao.org/docrep/003/t0355s/T0355S03.htm>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez-Solano, R., Martín, L. y Bachiller, I. (s.f.). *Fotogrametría*. Recuperado el 12 de agosto de 2015 de [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA\\_11](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11)
- Palacios, E. (2012). Sistemas Electro-Ópticos Implementados en Prototipos UAV. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 25-30.
- Paparazzi. (s.f.). *Proyecto Paparazzi*. Recuperado el 12 de marzo de 2016 de <http://paparazzi.enac.fr>
- Pardo, J., Cedillo, U., Lucero, D., Tirado, K., Andi, L., y Calupiña, R. (2012). *Informe Situación Actual Proyecto UAV*. Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, Latacunga.
- Prado, J., y Enríquez, V. (2012). Estabilización inercial en aeronaves no tripuladas. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 37-43.
- Qgroundcontrol. (s.f.). *Qgroundcontrol*. Recuperado el 28 de febrero de 2016 de <http://www.qgroundcontrol.org/>
- Qihao, W. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration. Theories, Methods, and Applications*. Indiana, Estados Unidos: McGrawHil Companies, Inc.
- Quintana, L. (2014). *El Gavilán a Distancia*. Cumbayá, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Sociales y Humanidades COCISOH.
- Radioptica. (s.f.). *Redes de sensores Inalámbricos*. Recuperado el 3 de abril de 2016 de <http://www.radioptica.com/sensores/>
- Recursostic.educacion.es. (s.f.). *Sensores*. Recuperado el 17 de diciembre de 2015 de [http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11\\_contenidos\\_3c.htm](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3c.htm)
- Rodas, A., y Rosales, A. (2012). Instrumentación en vehículos aéreos no tripulados. *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 67-73.

- Rubio, O. (2012). Sistema de energía para un vehículo aéreo no tripulado (UAV). *Aeroespacial, Investigación y Desarrollo*, 3, 47-53.
- Sanderson, R. (s.f.). *Introduction to Remote Sensing*. Nuevo México, Estados Unidos: New Mexico Space Grant Consortium.
- Schowengerdt, R. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* (3° ed.). California, Estados Unidos: Academic Press Publications.
- Secretaría de Marina Armada de Mexico. (s.f.). *Percepción Remota*. Recuperado el 12 de mayo de 2015 de <http://www.semar.gob.mx/s/informacion-sector/ciencia/ermexs/percepcion-remota.html>
- Shephardmedia. (s.f.). *Avionics begins production of Caçador UAV*. Recuperado el 6 de Marzo de 2016 de <https://www.shephardmedia.com/news/uv-online/avionics-begins-production-cacador-uav/>
- Sobrino, A., Raissouni, N., Kerr, Y., López-García, M., Belaid, A., El Kharraz, M., Cuenca, J. y Dempere, L. (2000). *Teledetección*. Valencia, España: Servicio de Publicaciones, Universidad de Valencia .
- Uavdach. (s.f.). *El uso de drones en España*. Recuperado el 12 de febrero de 2016 de [https://www.uavdach.org/korr.Nutzung/AESA\\_spain.pdf](https://www.uavdach.org/korr.Nutzung/AESA_spain.pdf)
- Uchile. (s.f.). *Material educativo para teledetección mediante radares*. Recuperado el 8 de agosto de 2015 de [http://www.gep.uchile.cl/Biblioteca/Radar/gsarcd\\_s.pdf](http://www.gep.uchile.cl/Biblioteca/Radar/gsarcd_s.pdf)
- Universidad Autónoma de México. (s.f.). *Capítulo II: Fundamentos de la percepción remota*. Recuperado el 12 de agosto de 2015 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/437/A4.pdf?sequence=4>
- Universidad de California en Santa Bárbara. (s.f.). *“Introduction to Thermal Infrared Remote Sensing”*. Recuperado el 12 de agosto de 2015 de [http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote\\_sensing/thermal/thermalirinfo.html](http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/thermal/thermalirinfo.html)
- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (s.f.). *Historia de la Institución*. Recuperado el 16 de enero de 2016 de <http://ugt.espe.edu.ec/la-institucion/historia/>

Yechout, T. (2003). *Introductions to Aircraft Flight Mecanics, Performace, StaticStability, Dynamic Stability anda Classical Feedback control*. AIAA Education Series, USAFA.

## **ANEXOS**