

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**INTEGRACIÓN DE SISTEMAS
ELECTRÓNICOS DE COMUNICACIÓN,
SENSADO Y CONTROL REMOTO EN
VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS**

(Integration of Electronic Systems for
Communication, Sensing and Remote Control of
Unmanned Aircraft Vehicles)

Para acceder al Título de

***Graduado en Ingeniería de Tecnologías de
Telecomunicación***

Autor: Jose Luis Rodríguez Magdaleno

Octubre - 2013

**GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN**

CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Realizado por: **Jose Luis Rodríguez Magdaleno**

Director del TFG: **Adolfo Cobo García**

Título: **“INTEGRACIÓN DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE
COMUNICACIÓN, SENSADO Y CONTROL REMOTO EN
VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS”**

Title: **“Integration of Electronic Systems for Communication, Sensing
and Remote Control of Unmanned Aircraft Vehicles“**

Presentado a examen el día: Octubre/2013

para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN**

Composición del Tribunal:

Presidente: **D./D^a Mirapeix Serrano, Jesús**

Secretario: **D./D^a Cobo García, Adolfo**

Vocal: **D./D^a Sánchez González, Luis**

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de:

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

**Fdo.: El Director del TFG
(sólo si es distinto del Secretario)**

Vº Bº del Subdirector

**Trabajo Fin de Grado Nº:
(a asignar por Secretaría)**

*Dedicado a mi hija Lara y a mi
mujer Mónica.*

<<Los problemas no son más que obstáculos que nos demuestran una debilidad y la oportunidad de conocer y superar nuestros límites.>>

Jonathan Moldú

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi director del proyecto, Adolfo Cobo García, profesor titular miembro del *Grupo de Ingeniería Fotónica del Dpto. de Tecnología Electrónica, Ingeniería de Sistemas y Automática* de la Universidad de Cantabria, la ayuda prestada y sus consejos para la realización de este trabajo.

Muchas gracias a Álvaro López de *USOL* (Unmanned Solutions), Antón Hernández de *Airelectronics*, José Antonio Domínguez de *Grupo Acre*, Javier Martínez de *Esri* y David Oroshnik de *Velodyne* (EE.UU) por la información prestada y sus consejos profesionales basados en su experiencia trabajando con UAVs para la realización de la documentación técnica de este trabajo.

A mis compañeros de estudio, Alberto Campo, Bernardo San Segundo, David Lavín, Lara de Cos y Laura Sainz. Gracias por vuestra ayuda y sobre todo, por el compañerismo reinante.

Gracias a mi familia; mi madre Teresa, mis hermanas M^a José y Teresa, mi abuela Teresa (97 años), por cuidarme, comprenderme y hacerme mejor persona cada día. A Jano por la alegría que nos dio sin pedir nada a cambio. Y a ti abuelo, porque nunca me olvidaré de los momentos que vivimos juntos.

A mi “*otra familia*”; mis suegros Marina y Manolo, mi cuñado Juan Manuel y su mujer Lorena y a mis sobrinas Ainhoa y Paula. Gracias por todo lo que me dais.

Finalmente, gracias a mi mujer Mónica por aguantarme durante este tiempo en el que decidí volver a estudiar después de tantos años, y a mi hija Lara por dedicarme una sonrisa cada día.

Acrónimos

ACAS	<i>Airborne Collision Avoidance System</i>
AGL	<i>Above Ground Level</i>
ALS	<i>Escáner Láser Aerotransportado</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
ATLANTE	<i>Avión Táctico de Largo Alcance No Tripulado Español</i>
ATM	<i>Air Traffic Management</i>
ATS	<i>Air Traffic Service</i>
BLOS	<i>Beyond Line of Sight</i>
CDTI	<i>Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial</i>
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i>
COTS	<i>Commercial off-the-shelf</i>
CR	<i>Close Range</i>
CS	<i>Certification Specifications</i>
DGAC	<i>Dirección General de Aviación Civil</i>
DGAM	<i>Dirección General de Armamento y Material</i>
DSA	<i>Desarrollo de Sistemas Avanzados</i>
DUO	<i>Designated UAV Operator</i>
EASA	<i>Agencia Europea de la Seguridad Aérea</i>
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>
ELOS	<i>Equivalent Level Of Safety</i>
EO	<i>Electro Óptico</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAR	<i>Federal Aviation Regulations</i>
FCL	<i>Flight Crew Licences</i>
FCS	<i>Flight Control System</i>
FINAS	<i>Flight In Non-Segregated Air Space</i>
FMS	<i>Flight Management System</i>
GPS	<i>Global positioning System</i>
HALE	<i>High Altitude Long Endurance</i>
IFR	<i>Instrumental Flight Rules</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INS	<i>Inertial Navigation Sensor</i>
INTA	<i>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial</i>
IR	<i>Infrarrojo</i>
JAA	<i>Joint Aviation Authorities</i>
JAR	<i>Joint Aviation Requirements</i>

JCGUAV	<i>Joint Capability Group on UAV</i>
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
LOS	<i>Line Of Sight</i>
LVDS	<i>Low Voltage Differential Signaling</i>
LWIR	<i>Long-wavelength infrared</i>
MALE	<i>Medium Altitude Long Endurance</i>
MDE	<i>Modelo Digital de Elevaciones</i>
MDT	<i>Modelado Digital del Terreno</i>
MEMS	<i>Micro Electromechanical Systems</i>
MR	<i>Medium Range</i>
MTOW	<i>Maximum Take Off Weight</i>
NPA	<i>Advance Notice of Proposed Amendment</i>
OAT	<i>Operational Air Traffic</i>
OSD	<i>Office of Secretary of Defense</i>
SIVA	<i>Sistema Integral de Vigilancia Aérea</i>
SR	<i>Short Range</i>
SSD	<i>Solid State Disk</i>
UAS	<i>Unmanned Aircraft Systems</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
USAR	<i>UAV System Airworthiness Requirements</i>
VANT	<i>Vehículo Aéreo No Tripulado</i>
VFR	<i>Visual Flight Rules</i>
VFRN	<i>Visual Flight Rules Night</i>
VMC	<i>Visual Meteorological Conditions</i>
VPC	<i>Virtual Port Chanel</i>
VTOL	<i>Vertical Take Off and Landing</i>

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	CONTEXTO, MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	1
1.2.	HISTORIA DE LOS UAV/UAS	2
1.2.1.	<i>Cronología de los UAV</i>	3
2.	CONCEPTO DE UAV/UAS	8
2.1.	¿QUÉ ES UN UAV/UAS?	8
2.2.	OPORTUNIDAD DE NEGOCIO	9
2.2.1.	<i>El sector de los UAS en España</i>	10
2.3.	SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE VUELO	10
2.3.1.	<i>Sistema de control de vuelo</i>	11
2.3.2.	<i>Modos de control de un UAV</i>	12
2.3.3.	<i>Sistema de comunicaciones</i>	12
2.3.3.1.	Enlace de telemetría	12
2.3.3.2.	Enlace de datos	13
2.3.4.	<i>Sistemas de “sense and avoid”</i>	13
3.	INTEGRACIÓN DE UAS EN EL ESPACIO AÉREO “NO SEGREGADO”	16
3.1.	CERTIFICACIÓN DE AERONAVEGABILIDAD	17
3.1.1.	<i>Proceso general de certificación</i>	18
3.1.2.	<i>Certificación UAS</i>	18
3.2.	CERTIFICACIÓN DE OPERADORES Y MANTENIMIENTO	19
3.3.	REGLAS DEL AIRE PARA UAS	19
4.	ARQUITECTURAS	22
4.1.	UAV DE DESPEGUE NO VERTICAL	25
4.1.1.	<i>Ala fija</i>	25
4.1.2.	<i>Ala flexible</i>	26
4.2.	UAV DE DESPEGUE VERTICAL (VTOL)	26
4.2.1.	<i>Ala rotatoria</i>	26
4.2.2.	<i>Multirotor</i>	27
4.2.3.	<i>Auto-sustentados</i>	27
4.3.	UAVS COMERCIALES	29
4.3.1.	<i>Hexacóptero Aibotix (Grupo Acre)</i>	29
4.3.2.	<i>Aeroplano Skywalker kit (Airelectronics)</i>	31
4.3.3.	<i>Helicóptero Benzine (Airelectronics)</i>	32
4.3.4.	<i>Avión K-50 (USol – Unmanned Solutions)</i>	33
5.	APLICACIONES DE LOS UAS	35
5.1.	APLICACIONES MILITARES	35
5.2.	APLICACIONES CIVILES	35
5.2.1.	<i>Búsqueda de personas desaparecidas:</i>	37
5.2.2.	<i>Fotografía, vídeo y cartografía aérea:</i>	38
5.2.3.	<i>Prevención y control de incendios:</i>	39
5.2.4.	<i>Otras aplicaciones</i>	39
6.	EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE SENSADO	41
6.1.	CÁMAS FOTOGRÁFICAS Y DE VIDEO	42
6.1.1.	<i>Cámaras de video comerciales</i>	42
6.2.	CÁMARAS MULTIESPECTRALES	43
6.3.	RÁDAR LÁSER (LIDAR)	44
6.3.1.	<i>Clasificación</i>	45
6.3.2.	<i>Pasos para la adquisición de datos LiDAR</i>	46
6.3.2.1.	Pre-procesado, filtrado y clasificación de los datos brutos	47

6.3.2.2.	Generación de modelos digitales	47
6.3.2.3.	Términos básicos para entender el LiDAR	48
6.3.2.4.	El LIDAR y la vegetación	49
6.3.3.	<i>LIDAR comerciales</i>	50
6.4.	CÁMARAS EO/IR	55
6.5.	CÁMARAS TERMOGRÁFICAS	55
6.5.1.	<i>Cámaras termográficas comerciales</i>	56
7.	EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL Y COMUNICACIONES	59
7.1.	CONTROL REMOTO Y ESTACIÓN BASE DE COMUNICACIONES COMERCIALES (CONTROL DE TIERRA)	59
7.1.1.	<i>ESTACION BASE MAVinci (Grupo Acre)</i>	60
7.1.2.	<i>Sistema de Vídeo en Tiempo Real (Video Link MAVinci-Grupo Acre)</i>	60
7.1.3.	<i>Conector Wireless MAVinci (Grupo Acre)</i>	61
7.1.4.	<i>U-STATION (Airelectronics)</i>	63
7.1.5.	<i>U-GROUND (Airelectronics)</i>	63
7.2.	HARDAWARE EMBARCADO	65
7.2.1.	<i>Piloto Automático MAVinci (Grupo Acre)</i>	65
7.2.2.	<i>U-PILOT (Airelectronics)</i>	66
7.2.3.	<i>Ardupilot (Arduino)</i>	67
7.3.	SOFTWARE ESPECIALIZADO	68
7.3.1.	<i>MAVinci Desktop Fligthplanning (Grupo Acre)</i>	68
7.3.2.	<i>U-SEE Fligthplanning (Airelectronics)</i>	69
7.3.3.	<i>UAV Software Ensomosaic (Grupo Acre)</i>	70
7.3.4.	<i>Modelado 3D ArcGIS para LIDAR (Esri)</i>	71
8.	PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE EQUIPOS PARA APLICACIONES UAS	73
8.1.	INSPECCIÓN DE PANELES SOLARES	73
8.1.1.	<i>Procedimientos para inspeccionar paneles solares con cámaras termográficas</i>	73
8.1.2.	<i>UAS propuesto para inspección de placas solares</i>	79
8.2.	INSPECCIÓN LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN	82
8.2.1.	<i>Inspección de la vegetación cercana a líneas eléctricas mediante LIDAR</i>	83
8.2.2.	<i>UAS propuesto para inspección de la vegetación cercana en líneas eléctricas</i>	84
9.	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	86
10.	BIBLIOGRAFÍA	87
10.1.	ENLACES DE INTERÉS	88

1. Introducción

En los últimos años ha habido un avance muy importante en el desarrollo de vehículos no tripulados (del inglés UAV- *Unmanned Aerial Vehicle*) sobre todo para su uso en futuras aplicaciones civiles. Este tipo de vehículo se está empleando en tareas de búsqueda y rescate, vigilancia comercial, exploración de edificios, entre otras. Los UAVs son muy útiles, principalmente cuando nos encontramos en entornos de difícil acceso o con un cierto peligro.

Los avances tecnológicos, junto con la mejora en el almacenamiento de energía, han hecho posible el desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados. Gracias a los sensores de escala reducida MEMS (*Micro Electromechanical Systems*) y los avances en microcontroladores, ofreciendo la posibilidad de cálculos más complejos en poco espacio, han hecho posible la construcción de estos sistemas autónomos. Cada vez más, las líneas de investigación de estos sistemas van en aumento. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de control para este tipo de vehículos no es trivial, debido principalmente a la dinámica tan compleja inherente en los sistemas aerodinámicos, los cuales son multivariables, y presentan diversas características no lineales. Por lo tanto, se requiere un modelo de control que proporcione una buena estabilidad en vuelo autónomo, o que ayude al menos al pilotaje del vehículo, proporcionando alta maniobrabilidad y robustez ante perturbaciones externas.

1.1. Contexto, motivación y objetivos

Los UAVs, desde su creación, han cobrado gran importancia en acciones militares de todo tipo. Sin embargo, es evidente que este tipo de vehículos pueden ser de gran utilidad en numerosas aplicaciones civiles. Su uso en acciones “no militares” es muy limitado en la actualidad, reducido prácticamente a la toma área de imágenes. Numerosas razones explican esta situación: coste de los aparatos, disponibilidad limitada de sensores de bajo peso y pequeño tamaño, uso del espacio aéreo, etc...

Sin embargo, es previsible un despegue importante de esta tecnología en multitud de aplicaciones civiles. El avance de la microelectrónica, los sensores fotónicos y ópticos de tamaño y pesos reducidos y de la aeronáutica, hacen que los UAV comiencen a tener cierta relevancia en aplicaciones de uso civil. Estas aplicaciones requieren un diseño del sistema y la selección de sus componentes adecuados, especialmente de los sensores definidos para cada tipo de misión.

Este trabajo tiene por objetivo realizar un análisis del estado de la técnica en el ámbito de los UAVs y los sensores fotónicos y ópticos, proponiendo la integración de equipos formando sistemas para diversas aplicaciones civiles. Se propondrán algunas de estas aplicaciones, y dos de ellas (inspección de plantas solares y líneas eléctricas mediante cámaras termográficas y de la vegetación cercana de líneas eléctricas mediante LIDAR) serán analizadas en detalle, para proponer el diseño del sistema y una selección de componentes optimizados para cada aplicación. Se prestará especial atención a los detalles de integración de los subsistemas, su coste y la capacidad real de cumplir los requerimientos de cada aplicación planteada.

1.2. Historia de los UAV/UAS

Desde que levantaron el vuelo a finales de la Segunda Guerra Mundial, los UAV (VANT- *Vehículo Aéreo No Tripulado*, en español) se han convertido en un arma impersonal, imprescindible y letal. Los DRONES, como se conocen comúnmente a los UAV de uso militar, no son armas omnipotentes, pero desde su origen, que se remonta a un siglo atrás, fueron diseñados para la guerra. Dirigidos por control remoto, a veces desde miles de kilómetros, con frecuencia estos aparatos son incapaces de distinguir entre aliados o enemigos, o identificar a combatientes entre civiles. Temibles para la población civil, hasta ahora son muy vulnerables tanto por aviones de combate como por hackers. Sus frecuentes errores los pagan con sangre los civiles o incluso los socorristas que brindan atención médica a las víctimas de sus ataques.



Figura 1.1: Dron militar del ejército de los Estados Unidos.

Su protagonismo en los así llamados 'asesinatos selectivos' y las numerosas víctimas inocentes que ocasiona su uso, provoca una indignación a nivel mundial y, sobre todo, el horror y el odio entre la población civil que sufre sus ataques.



Figura 1.2: Lanzamiento de misiles desde un dron militar.

1.2.1. Cronología de los UAV

El desarrollo de vehículos aéreos no tripulados se inició inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial.

1917

Charles Kettering, de General Motors, desarrolla un biplano no tripulado pre-programado conocido como '*torpedo aéreo Kettering*'. De acuerdo a su idea, este vehículo accionado por un mecanismo de relojería debería plegar las alas en un lugar programado y caer sobre un enemigo como una bomba. Con la financiación del Ejército de EE.UU, fueron construidos unos cuantos aparatos, pero no fueron utilizados en combates.

1933

Primera prueba exitosa en el Reino Unido del primer UAV *Queen Bee*, desarrollado a partir del biplano Fairey Queen. Se controlaba por control remoto desde un barco. Este modelo rebautizado DH82A Tiger Moth se usó en la Marina británica como un avión-blanco desde 1934 hasta 1943.

1940

Sin embargo, el primer drone producido en serie a gran escala fue el estadounidense Radioplane OQ-2, que sirvió como blanco volante para la formación de pilotos. Investigaciones similares se llevaban a cabo en la Unión Soviética. En 1930-1940 el diseñador de aviones Nikitin desarrolló un drone planeador armado con torpedo PSN-1 y 2 y tipo de 'ala volante' en dos modalidades: una como blanco aéreo para entrenamiento de pilotos y otra con automatización completa.

A principios de la década de los 40 fue diseñado un torpedero con alcance de 100 kilómetros y una velocidad de 700 km/h. Sin embargo, los drones de este proyecto no fueron lanzados en serie.

SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Alemania

Durante la Segunda Guerra Mundial, los ingenieros alemanes desarrollaron varios tipos de armas guiadas por radio, incluyendo bombas Henschel Hs 293 y Fritz X, misiles Enzian y aviones cargados de explosivos también controlados por radio. Fritz X y Hs 293 fueron utilizados con éxito en el Mar Mediterráneo contra buques de guerra blindados.

Un arma 'masiva' fue el primer misil de crucero FAU-1 con un motor de propulsión a chorro que se lanzaba tanto desde aviones como desde tierra.

Estados Unidos

En Estados Unidos se fabricó en masa el blanco volante Radioplane OQ-2 para la formación de pilotos y artilleros. Además, en 1944, fue utilizado por primera vez en el mundo el UAV 'clásico' de ataque: el Interstate TDR.

DESPUÉS DE LA 2ª GUERRA MUNDIAL

Al término de la Segunda Guerra Mundial, las grandes potencias concibieron como su principal fuerza de ataque poderosos misiles nucleares, desarrollando nuevos tipos de misiles guiados o balísticos. A su sombra, el desarrollo de aviones no tripulados se financiaba como una 'hijastra' del armamento estratégico.

1951 – Estados Unidos

En 1951 Estados Unidos lanzó en serie la producción de AQM-34, un avión-blanco modificado para ser usado como un aparato de reconocimiento que se lanzaba desde un avión-madre para realizar un vuelo por una ruta programada. Cumplida su misión, descendía en paracaídas. El diseño fue tan exitoso que el AQM-34 sirvió en la Fuerza Aérea de EE.UU. durante más de 30 años y se suministraba a sus aliados.



Figura 1.3: Objetivo alcanzado por un misil lanzado desde un UAS.

Unión Soviética

A principios de los años 70 la Oficina de Diseños Tupolev desarrolló varios drones de gran alcance para misiones de reconocimiento, los llamados Tu-123 Yástreb, Tu-141 Strizh y Tu-143 Reis. Sólo fueron fabricados 950 Reis, que no criaron precisamente polvo en los hangares, ya que fueron enviados a puntos calientes, como el conflicto árabe-israelí, considerado un punto de no retorno en la historia de los aviones de combate no tripulados.

1960, 1 de mayo

Un avión espía U-2 pilotado por Francis Gary Powers es derribado sobre el espacio aéreo soviético, hecho percibido por muchos especialistas como una prueba de la necesidad de usar en estas misiones aviones de reconocimiento no tripulados. A principios de 1960, los vehículos de control remoto fueron utilizados por EE.UU para supervisar la colocación de los misiles soviéticos en Cuba tras el derribo de otro U-2 y el fallecimiento de su piloto.



Figura 1.4: Avión-espía U-2.

1964, 15 de noviembre

El primer avión no tripulado de EE.UU es derribado sobre China.

1973

Israel utiliza drones de fabricación estadounidense BQM-74 en su lucha radioelectrónica durante la guerra del Yom Kippur.

1970 -1973

Vehículos no tripulados Firebee completan 268 misiones en Corea del Norte. Estos aparatos fueron lanzados desde aviones C-130 Hércules y bajaban en paracaídas sobre el océano.

Años 80

El desarrollo de UAV de reconocimiento se estanca a favor de uso de satélites

1991

EE.UU. usa drones-blancos Chukar como señuelos durante la Guerra del Golfo.

1994

Primer vuelo de un Predator. Se trata del primer UAV operativo que usa el sistema de posicionamiento global GPS en lugar de estar programado o de usar la línea de visión, por lo que es más fiable. Se implementó al año siguiente, en la guerra en Yugoslavia.



Figura 1.5: Drone policial de vigilancia.

1998

Se desarrolla el Global Hawk, UAV de gran altitud y largo alcance diseñado para permanecer en el aire mucho tiempo sobre un territorio enemigo.

2001

Primer vuelo de un MQ-9 Reaper. Originalmente bautizado como Predator-B, el Reaper es un avión no tripulado más rápido, más alto y más letal. Su producción comenzó al año siguiente.



Figura 1.6: Restos de un drone de reconocimiento que se estrelló en territorio paquistaní, cerca de la frontera con Afganistán.

2011, diciembre

Irán asegura que sus fuerzas han derribado un drone-espía RQ-170 Sentinel, y que lo conservan casi intacto en su poder. Días después el avión fue expuesto en Irán y medios iraníes informaron que la aeronave había sido hackeada por especialistas persas.



Figura 1.7: El RQ-170 Sentinel en manos de militares iraníes.

2013, Septiembre

La compañía Boeing y la Fuerza Aérea de EE.UU. tomaron la decisión de transformar los aviones de combate F-16 en aviones no tripulados y designarlos como QF-16.

El primer vuelo de prueba del avión no pilotado se llevó a cabo en septiembre en la base aérea Tyndall, en Florida, según informa el sitio oficial de Boeing. Dos pilotos de pruebas de la Fuerza Aérea pilotaron QF-16 desde la estación de control en tierra.

En el aire la misión del nuevo modelo no pilotado incluyó una serie de maniobras simuladas, alcanzó velocidades supersónicas, regresó a la base y aterrizó exitosamente. Hasta ahora, Boeing ha modificado seis aviones F-16 hacia la configuración QF-16.



Figura 1.8: Avión de combate QF-16.

2. Concepto de UAV/UAS

2.1. ¿Qué es un UAV/UAS?

Se entiende por una aeronave no tripulada (UAV: *Unmanned Aerial Vehicle*) aquella que es capaz de navegar sin llevar a bordo ningún piloto pudiendo ser controladas desde una estación base o llevar una programación preestablecida. Estos vehículos han sido utilizados en aplicaciones militares tales como reconocimiento de terreno y ataque. En los últimos años investigadores del ámbito de robótica e inteligencia artificial aeronáutica y control están enfocando sus esfuerzos hacia esta línea para aplicar dicho concepto a aplicaciones civiles. En la actualidad nos podemos encontrar con situaciones en las que la visión aérea sería de gran ayuda, por ejemplo en la detección de incendios, control policial en situaciones de riesgo o reconocimiento de desastres naturales. Estos son algunos ejemplos en los que podemos aplicar el concepto de UAV en misiones civiles. Las ventajas de un UAV se pueden resumir en; menor coste que las aeronaves tripuladas, no se arriesgan vidas, capacidad de incorporar muchos sensores y la posibilidad de acceder a sitios peligrosos o de difícil acceso.

Los sistemas de aeronaves no tripuladas o UAS (*Unmanned Aircraft Systems*) forman parte, desde hace muchos años, de los inventarios militares, básicamente como plataformas de observación operando desde aeródromos militares y con destino en zonas de conflicto. Muchas de las plataformas aéreas utilizadas, tienen unas características de vuelo y perfiles de misión que los asemejan en gran manera a las aeronaves tripuladas convencionales, operando en un espacio aéreo cuya estructura y sistema de gestión están sin embargo pensados para aeronaves tripuladas. No obstante, mientras el uso de estos sistemas ha sido relativamente discreto, estrictamente militar, en zonas de conflicto y en espacios aéreos no demasiado congestionados, han podido operarse sin interferir o sin afectar peligrosamente el tráfico aéreo convencional, mediante la asignación de pasillos aéreos y zonas de espacio aéreo «segregado». Pero desde hace algunos años, el uso de estos sistemas se ha incrementado, aunque manteniéndose dentro de la órbita militar y en zonas de conflicto, lo que resulta en la proliferación de multitud de sistemas no tripulados en determinadas zonas, en las que pueden producirse serios trastornos en la seguridad aérea. Por otro lado, los avances tecnológicos en los campos de las comunicaciones, en los sistemas de navegación y posicionamiento, el incremento de la capacidad de procesamiento, la compactación de los equipos, el incremento de su fiabilidad, el desarrollo de «cargas de pago» (carga encargada de realizar la misión), cada vez más ligeras fiables y con altas prestaciones, han propiciado el desarrollo de este concepto de sistema con plataforma aérea no tripulada para un uso civil, no solamente comercial, sino también por parte de otros organismos gubernamentales, como puedan ser los cuerpos de seguridad, vigilancia de fronteras, protección civil, etc..

Los sistemas antes denominados UAV, han pasado a denominarse UAS para destacar el hecho de que se está identificando un «Sistema» y no sólo la plataforma aérea, que constituye un subsistema del mismo. Si bien es cierto que una gran mayoría de los UAS son de pequeño tamaño y operan a baja o muy baja cota, existe una gama de ellos, desplegados en menor número pero en tareas de gran responsabilidad, que son aeronaves más pesadas, con perfiles de misión que requieren alcanzar mayores altitudes y a distancias muy superiores, fuera de la línea vista, para los que la operación exigirá normalmente «invadir» un espacio aéreo en el que las aeronaves deben estar integradas en los diferentes sistemas de

gestión y control de tráfico aéreo. De esta forma se asegura que no exista riesgo alguno sobre otras aeronaves que usen el mismo espacio o sobre personas y bienes en tierra. Hoy por hoy, este nivel de seguridad se consigue estableciendo zonas y pasillos aéreos de uso exclusivo para los UAS, es decir, segregando parte del espacio aéreo. Pero esta solución no es viable para hacer frente a la proliferación de UAS que se prevé puedan ser operados en zonas no conflictivas, por lo que se hace necesario establecer el modo en que determinados UAS puedan, en un periodo de tiempo lo más corto posible, compartir el espacio aéreo con la aviación convencional, tanto la general como la operativa. Esta iniciativa es la que da lugar al problema de la «Integración de los UAS en el Espacio Aéreo No Segregado».

La ausencia del piloto o de tripulación a bordo de estas aeronaves y la sustitución de sus actuaciones directas sobre la plataforma por actuaciones desde tierra a través de enlaces de datos Tierra/Aire, a la vez que elimina determinados subsistemas de la aeronave (como asientos, paneles de instrumentación, sistemas de acondicionamiento de aire, sistemas de oxígeno, etc), introduce otra serie de problemas. Entre otros, el hecho de que el conocimiento de la situación, como es la altitud de vuelo, el estado de los motores, los datos de navegación, etc, deba transferirse en tiempo real desde la plataforma a los operadores en tierra. Y lo que es más importante, se precisa sustituir la capacidad de observación visual del piloto y su capacidad de analizar la situación y tomar decisiones por una capacidad equivalente obtenida mediante sensores embarcados de observación del entorno y procesadores para calcular trayectorias y establecer posibles soluciones en caso de conflicto o riesgo de colisión con otras aeronaves (Sistemas de *Sense and Avoid*). Por todo ello se hace necesario regular el sistema físico del UAS (plataforma aérea, equipamiento y carga útil, estaciones de control en tierra, sistemas de lanzamiento y recuperación etc), estableciendo los requisitos necesarios para contrastar su nivel de seguridad física.

2.2. Oportunidad de negocio

Los UAVs son una de las áreas dentro de la industria aeronáutica con mayor potencial de crecimiento, lo que se demuestra en el hecho de que su uso se ha multiplicado por cuatro en apenas seis años. En comparación con los vehículos tripulados, estas aeronaves son más maniobrables y sus costes de explotación pueden ser inferiores. Además, con ellas se puede evitar el riesgo inherente a los vuelos tripulados en entornos hostiles, en condiciones de vuelo con escasa visibilidad o, en general, con condiciones climatológicas adversas. Hay numerosas razones para desarrollar el negocio de los UAVs en España, entre ellas destacan:

- La intención de ubicar el centro de excelencia de UAV de EADS en España, que es uno de los objetivos que se marcó el Gobierno en el reciente Plan estratégico del sector para el periodo 2008-2016.
- La construcción en Villacarrillo (Jaén) del Centro de Vuelos Experimentales Atlas, que es la primera instalación en España dedicada a experimentar con tecnologías y sistemas de aviones no tripulados, con objeto de servir como trampolín de la tecnología en España.
- Potenciales usos de estos sistemas en España son los campos de: agricultura, gestión de agua y acuíferos, medioambiente, vertidos, urbanismo y catastro, vigilancia de fronteras, lucha contra el fuego, gestión del tráfico terrestre, etc.

El modelo de negocio del mercado de los UAV/UAS se basa en *la capacidad de realizar sistemas a medida para cubrir necesidades concretas del cliente* en muy diversos ámbitos, aprovechando el uso de las técnicas de inteligencia artificial.

2.2.1. El sector de los UAS en España

En España existen numerosas empresas y universidades que están trabajando en este campo e industrias que fabrican elementos para estos vehículos a escala internacional, por lo que cuenta con infraestructuras y personal técnico y graduado suficiente para albergar cualquier desarrollo de fabricación y operación de UAVs. Los sistemas aéreos no tripulados tienen una utilidad potencial para varios organismos del Ministerio de Interior como la Dirección General de Tráfico o las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado.

España cuenta con numerosas empresas que han sido capaces de realizar una importante expansión internacional y de integrarse en consorcios y proyectos europeos, y que participan continuamente en propuestas de I+D europeas. El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) es el pionero en España en el campo de los UAVs, principalmente a través de su UAV táctico pesado “Sistema Integral de Vigilancia Aérea” (SIVA). Además, destacan programas como el *Atlante* y el *Talarion*:

- El Atlante (Avión Táctico de Largo Alcance No Tripulado Español) es un sistema táctico pesado para misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento diurnas y nocturnas desarrollado por EADS que, por ahora, está siendo financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) y en el que participan como subcontratistas Indra, GMV y Aries.
- El Talarion es un proyecto impulsado por los gobiernos de España, Francia y Alemania y que tiene a EADS como contratista principal. Es un UAV de gran alcance y alta velocidad que tiene como principal ventaja que podrá volar en el espacio aéreo europeo sin restricciones. Entre otras empresas españolas que apuestan fuerte por este mercado se encuentran Aerovisión, Indra y Sener. En la actualidad, este proyecto está parado debido a la fuerte inversión necesaria para hacer frente a este proyecto pero inviable en tiempo de ajustes económicos.

2.3. Sistemas de Instrumentación y Control de Vuelo

El sistema de instrumentación y control de vuelo (denominado autopiloto o piloto automático) se ocupa de adquirir la información sobre la zona que sobrevuela la plataforma de vuelo mediante diversos sensores de comportamiento, posicionamiento y altitud, además de ejecutar el código necesario para controlar tanto la estabilidad como la posición del UAV acorde a lo captado por los sensores.

Los elementos que componen este sistema son, por tanto, la CPU y los sensores:

- **CPU:** Procesa la información de los distintos sensores y ejecuta los algoritmos necesarios para la ejecución de las maniobras que permiten a la aeronave mantener el plan de vuelo definido de manera estable. Puede localizarse a bordo o en tierra, teniendo en cuenta que, si ésta se sitúa a bordo, se pueden procesar los algoritmos a

una velocidad más alta y, además, se evitan posibles problemas derivados de los enlaces de comunicación. Sin embargo, también ha de tenerse en cuenta el peso que puede soportar la aeronave a la hora de decidir si situar la CPU a bordo o en tierra. Normalmente esta CPU se complementa con un sistema de medida inercial, en adelante IMU (*Inertial Measurement Unit*) que proporciona medidas con un alto ancho de banda de aceleración y velocidades de rotación.

- **SENSORES:** Si un UAV va a volar autónomamente, éste debe ser capaz de administrar la información sobre su estado para ejecutar los algoritmos necesarios para el control. Dependiendo del tipo de vehículo y su misión, estos requisitos varían. Sin embargo, los sensores básicos del UAV se pueden dividir en tres grupos: sensores de comportamiento (giróscopo, magnetómetro, acelerómetro, etc.), sensores de posicionamiento (GPS, brújula, etc.) y sensores de altitud (GPS, sonar, radar, laser, barómetro, etc.).

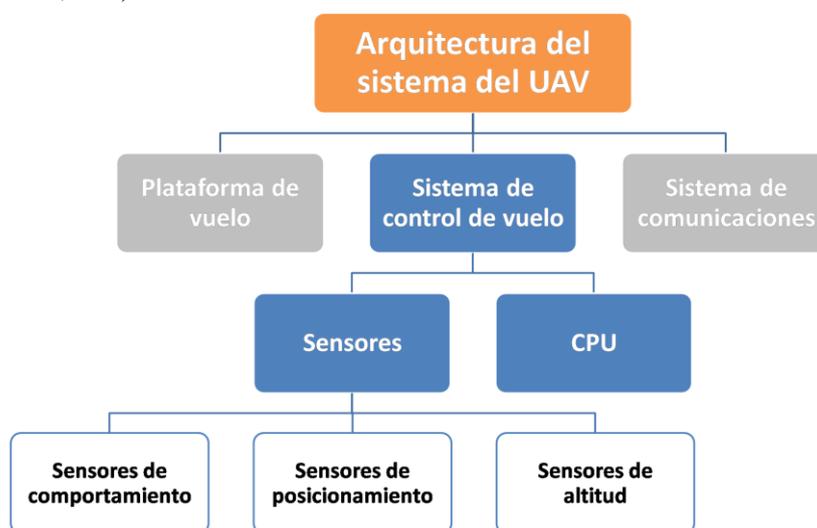


Figura 2.1: Arquitectura del sistema de un UAV.

2.3.1. Sistema de control de vuelo

El principal requerimiento de un UAV es el Sistema de Control de Vuelo (FCS), o piloto automático. Al inicio, los UAVs se pilotaban mediante control remoto pero a medida que las velocidades y alcances de éstos se aumentaban, se desarrolló un método más práctico, el control automático.

Hasta mediados de los años 90, los sensores para implementar el piloto automático de los UAVs eran grandes y caros. Se utilizaban dos tipos de sensores, precisos pero pesados, grandes y costosos, para mantener el avión controlado (horizonte artificial):

- Giroscopios mecánicos
- Medidores de velocidad

A partir de entonces, apareció un tipo de sensores miniaturizado (MEMS o Micro Electro Mechanical Sensors), fabricados con la misma tecnología con la que se fabrican los chips y con capacidades similares a los giroscopios mecánicos y medidores de velocidad. Los sensores MEMS tienen un tamaño milimétrico, están dotados de muy alta fiabilidad y

tienen un costo reducido. De este modo, mediante sensores tipo MEMS se han podido diseñar e implementar pilotos automáticos de dimensiones reducidas.

El mercado de sistemas de control de vuelo implementado con MEMS es muy reciente y por lo tanto, existen pocas empresas a nivel mundial que ofrezcan sistemas completos de control de vuelo y lo comercialicen. Las empresas que diseñan y fabrican UAVs normalmente no desarrollan sistemas de control de vuelo. Ellas compran el FCS a distribuidores y lo modifican, adaptándolo a sus vehículos y necesidades. Los clientes de control de vuelo son particularmente sensibles a la fiabilidad del sistema. El alto valor de los aviones, al igual que la posibilidad de daños en tierra, avala dicha sensibilidad.

El mercado de sistemas de control se caracteriza por:

- Se beneficia del crecimiento exponencial del mercado de UAVs ya que los fabricantes de UAVs no suelen diseñar sistemas de control de vuelo.
- Hay pocos competidores y con poca experiencia (5 o 6 años).
- Los compradores de FCS, les hacen modificaciones para adaptarlos a sus aplicaciones y necesidades.

2.3.2. Modos de control de un UAV

Según su modo de control, tenemos 3 tipos:

- **Autónomo:** Modo de control de un UAV donde se espera que el vehículo realice su misión dentro del ámbito programado, con sólo un monitoreo desde tierra. El modo de control incluye la operación automática completa, funciones autónomas (despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, control de altura, etc.) y operación inteligente.
- **Semiautónomo:** Modo de control de un UAV donde el piloto realiza cambios y conduce la misión a través de una interfaz de administración del vuelo. Sin esta información el UAV realizará operaciones automáticas pre-programadas. Puede o no incluir algunas funciones completamente autónomas (despegue, aterrizaje, evitación de colisiones, control de altura, etc.).
- **No autónomo:** La totalidad del control del vehículo se realiza remotamente.

2.3.3. Sistema de comunicaciones

Las comunicaciones en el presente proyecto se utilizan básicamente para la transmisión y recepción de datos:

- Entre la plataforma de vuelo y la estación de control, formando un enlace de telemetría.
- Entre la plataforma de vuelo y la estación de monitorización de imágenes, formando un enlace de datos.

2.3.3.1. Enlace de telemetría

Se utiliza el sistema de comunicaciones inalámbrico, GPRS, basado en la conmutación por paquetes. Pertenece a la generación 2.5G, por ser el resultado de la evolución de GSM (2G)

y representar un paso hacia los sistemas 3G. Es una tecnología superpuesta a la infraestructura GSM existente, ya que únicamente requiere algunas modificaciones sobre la red GSM para permitir la conexión de datos y transmitir paquetes de información vía radio, utilizando el protocolo IP.

GPRS opera en la banda de VHF a 900MHz y por tanto, requiere licencia para su operación. La velocidad que proporcionan los terminales GPRS (cuando están a máximo rendimiento) es de 128 kbps. Una de las aportaciones más importantes de GPRS es permitir la posibilidad que la estación de control y la plataforma de vuelo tengan una conexión permanente.

2.3.3.2. Enlace de datos

Se utiliza el protocolo inalámbrico 802.11, WiFi, para redes de área local que opera en la banda UHF a 2,4GHz. No requiere licencia para su utilización. La velocidad de transmisión es variable en función de las especificaciones, siendo el rango operativo de 11-54Mbps. El alcance varía en función de la potencia de transmisión y el medio de propagación, llegando a ser 50Km mediante enlaces punto a punto.

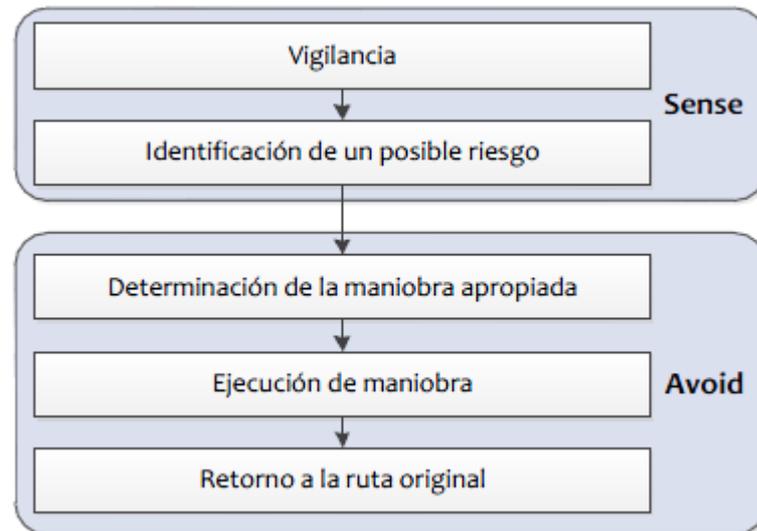
2.3.4. Sistemas de “sense and avoid”

La función de observación del espacio aéreo cercano para evitar obstáculos y conflictos entre trayectorias, se denomina genéricamente Sense and Avoid, e implica dos acciones claramente diferenciadas:

- La función *Sense* se refiere a la observación del «intruso», para obtener la máxima información sobre sus características y régimen de vuelo (en el mejor de los casos la identificación del vuelo, posicionamiento, rumbo y su velocidad). En vuelos tripulados visuales VFR (*Visual Flight Rules*), esta función se realiza a simple vista y a través de enlaces vía radio. En vuelos IFR (*Instrumental Flight Rules*) o VFRN (*Visual Flight Rules Night*) se precisan sistemas de ayuda a la visión del piloto.
- La función *Avoid* se encarga de analizar y procesar la información proporcionada por el Sense, decidir si el tráfico detectado es o no conflictivo (si existe riesgo de colisión o no) y en caso afirmativo, proponer al piloto (que en caso de los UAS estará en la estación de tierra, como piloto al mando) o ejecutar de modo autónomo, las acciones elusivas necesarias para asegurar la adecuada separación de tráfico. Este proceso puede realizarse de modo natural o con ayuda de procesadores con los algoritmos de análisis apropiados para ayudar a la toma de decisiones del piloto.

En realidad, el sistema de Sense and Avoid debe llevar a cabo dos modos diferenciados en lo que a separaciones entre aeronaves se refiere: modo de evitación de una posible colisión (*collision avoidance mode*) y modo de mantenimiento de la separación (*separation mode*). En el modo de evitación de una posible colisión el Sistema de Sense and Avoid actúa a corta distancia y deberá ser capaz de detectar tráfico conflictivo con el suficiente tiempo de antelación como para llevar a cabo una maniobra elusiva, entendiendo por tráfico conflictivo aquél cuya trayectoria prevista pasaría a 500 pies o menos del UAS, verticales u horizontales. En el modo de separación el Sense and Avoid permitirá el mantenimiento de las adecuadas distancias mínimas con el resto del tráfico, IFR o VFR. Este modo actúa a más larga distancia del intruso. Pero no siempre es posible este diálogo coordinado, pues basta que una de las aeronaves no disponga de ningún sistema para anunciar su presencia, para que

las demás aeronaves no puedan activar sus sistemas Sense and Avoid cooperativos. Se habla entonces de *modo no cooperativo* o *tráfico no cooperativo*, lo que implica que cada aeronave debe detectar por sus propios medios, la presencia del intruso y sus características de vuelo para poder actuar en consecuencia.



Como se ha mencionado anteriormente, la regulación emitida hasta ahora en relación a la integración de UAS es escasa y más en lo que se refiere a los sistemas de Sense and Avoid para UAS, limitándose a requerir el cumplimiento de las Reglas del Aire y derechos de paso ahí establecidos, así como las especificaciones de Eurocontrol contenidas en el «Eurocontrol Specifications For The Use Of Military UAV as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace» que se resumen a continuación:

- Los UAS deben cumplir las reglas del aire de la misma manera que aplican al resto de usuarios del espacio aéreo.
- El sistema Sense and Avoid debe alcanzar un nivel de seguridad equivalente al de una aeronave tripulada.
- El piloto al mando del UAS deberá utilizar la información de vigilancia para ayudarle a conseguir la distancia de separación y evitar la colisión.
- Adicionalmente, se deberá proporcionar asistencia técnica al piloto al mando que le permita mantener VMC (*Visual Meteorological Conditions*) y detectar y evitar tráfico conflictivo. El sistema Sense and Avoid debe contemplar un modo automático de operación que debe evitar la colisión y asegurar la distancia de separación en caso de pérdida de enlace de datos de control.
- El sistema Sense and Avoid debe ser compatible con ACAS (*Airborne Collision Avoidance System*) y cuando inicie una maniobra de evasión autónomamente debería alcanzar distancias de separación similares a las diseñadas para el ACAS.

De estas especificaciones básicas se deducen una serie de características del Sense and Avoid para UAS, en cuanto a sus interfaces externas:

- El sistema Sense and Avoid debe ser un sistema embarcado en el UAS, pues de otra forma no podría ser autónomo.

- El sistema deberá estar conectado con su estación de control en tierra para poder asistir al piloto al mando, enviándole la información de los posibles intrusos que detecten sus sensores y su posible peligrosidad en función de la trayectoria que sigan y su proximidad.
- El Sense and Avoid debe estar comunicado al FMS (*Flight Management System*), al objeto de disponer de información para una correcta predicción de las situaciones conflictivas (al menos la posición y la velocidad del UAS).
- El sistema Sense and Avoid deberá calcular una posible maniobra de evasión que deberá ser compatible con las limitaciones y actuaciones propias del UAS y acordes con las actuales condiciones de vuelo.
- Del sistema de comunicaciones se requiere conocer si se ha perdido o no el enlace con la estación de control en cuyo caso el sistema deberá poder funcionar en modo autónomo.
- El sistema Sense and Avoid deberá, caso de detectarse una situación conflictiva, proporcionar información a otros sistemas, como el FMS para ejecutar la maniobra de evasión calculada, así como al «piloto al mando» en tierra para la aprobación o cancelación de la maniobra.

3. Integración de UAS en el espacio aéreo “no segregado”

La premisa básica para la integración del UAS, en la que están de acuerdo todas las iniciativas y estudios que se han realizado o están en desarrollo actualmente, es que dicha integración deberá ser compatible con la doctrina emitida por las diferentes autoridades aeronáuticas que afectan a las aeronaves tripuladas. Así, la Agencia Europea de la Seguridad Aérea (EASA) dictaminó en 2004 como requisito básico, que los UAS “*Están actualmente sujetos a las disposiciones de aeronavegabilidad y ambientales de la Comunidad si su masa es igual o superior a 150 kg*”. En vista de las posiciones expresadas por todos los interesados, la Agencia opina que hay que mantener la situación actual para que únicamente se encuentren sujetas a la legislación comunitaria la aeronavegabilidad y las operaciones de los UAV que pesen más de 150kg. Como sus actividades tienen las mismas características que las de otras aeronaves, se considera que tales aeronaves “*deben estar sujetas a los mismos requisitos que cualquier otra aeronave que desempeñe la misma actividad*”.

De nuevo la EASA, en el *Advance Notice of Proposed Amendment (NPA) N° 16/2005* denominado «*Policy for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Certification*», estableció en 2005 como postulados o principios mínimos que: *Las normas reguladoras sobre aeronavegabilidad no deberán ser menos exigentes que las aplicables a la aviación convencional, ni por el contrario penalizar a los UAS con requisitos más exigentes por el simple hecho de que sean tecnológicamente alcanzables:*

- Las operaciones de UAS no deben incrementar el riesgo al resto de usuarios del espacio aéreo o a terceras partes.
- Los operadores de UAS deben operar manteniendo los acuerdos o disposiciones existentes.
- Las bases legales deben quedar claramente definidas de modo similar a las establecidas para la aviación convencional.
- La provisión de servicios de ATS (*Air Traffic Service*) al UAS debe ser transparente a los controladores aéreos y a otros usuarios del espacio aéreo.

Por otro lado, la JAA (*Joint Aviation Authorities*) y Eurocontrol recomiendan que:

- El UAS deberá alcanzar un «*Nivel Equivalente de Seguridad*» al de las aeronaves tripuladas.
- Las operaciones del UAS no incrementarán el riesgo para otros usuarios del espacio aéreo.
- Se aplicarán al UAS los mismos procedimientos ATM (*Air Traffic Management*) que para aeronaves tripuladas.
- Los Servicios de Tráfico Aéreo proporcionados al UAS deberán ser «transparentes» a los controladores del ATC (*Air Traffic Control*).
- Se aplicarán al UAS las mismas Reglas de Vuelo que al resto de usuarios del espacio aéreo del que se trate.

Finalmente el DoD norteamericano, en su «*Airspace Integration Plan for Unmanned Aviation*» de Noviembre de 2004, indica que la visión del OSD (*Office of Secretary of Defense*) es la de disponer de UAS convenientemente equipados para mantener un nivel de seguridad equivalente al de las aeronaves pilotadas.

En operaciones militares, el UAS operará con aeronaves tripuladas, utilizando conceptos de operación que permitan que dicha operación sea «transparente» a las autoridades de tráfico aéreo y a los reguladores del espacio aéreo.

Todos estos requisitos básicos pueden reducirse a dos:

- Nivel de seguridad en la operación equivalente a la exigida a la aviación convencional.
- Transparencia frente al sistema de Gestión y Control de Tráfico Aéreo. La medida de la seguridad de la plataforma se determina a través del concepto de aeronavegabilidad, que afecta al propio diseño de la aeronave.

Normalmente se habla de tres pilares básicos en los que se apoya la integración:

- Aeronavegabilidad
- Cualificación de operadores y personal de mantenimiento
- Reglas del Aire



Figura 3.1: Pilares de la integración en el espacio aéreo no segregado.

3.1. Certificación de aeronavegabilidad

La Certificación de aeronavegabilidad es, como se ha dicho, una condición indispensable para posibilitar la integración de los UAS en el espacio aéreo. Por ello, se ofrece a continuación un resumen de los aspectos más significativos asociados a este concepto.

La aeronavegabilidad se define como «la capacidad de una aeronave, o de un sistema o equipamiento embarcados, de operar en vuelo o en tierra sin riesgo para la tripulación embarcada o en tierra, los pasajeros (si es aplicable), otros usuarios del espacio aéreo o terceras partes». En otros términos se puede definir la aeronavegabilidad como el conjunto de pruebas y certificaciones que aseguran que un determinado diseño aeronáutico tiene las características adecuadas para poder ser operado con seguridad o en otros términos: «navegación segura dentro de su envolvente de vuelo de diseño». Es decir, que se verifica el estándar de seguridad de la aeronave (valoración del nivel de seguridad asociado a todos y cada uno de los sistemas que componen la aeronave y a la integración de los mismos), para

llevar a cabo el tipo de operación para el que ha sido diseñada. Esta capacidad es certificada por las autoridades aeronáuticas apropiadas, a través de reglamentaciones y normativas internacionalmente aceptadas.

3.1.1. Proceso general de certificación

El fabricante o la organización responsable del diseño aeronáutico que se pretende certificar, presenta el diseño y el uso que se le pretende dar, a la autoridad de aeronavegabilidad que corresponda (en España, DGAC para aeronaves civiles y la DGAM para las militares).

Posteriormente, solicita a dicha autoridad el inicio del proceso de certificación, para fijar conjuntamente las bases de certificación o códigos de aeronavegabilidad a utilizar, es decir, seleccionar el conjunto de normas a las que deberá someterse el producto y finalmente se negocia con la autoridad el plan de certificaciones la lista de párrafos aplicables de la norma y el método seleccionado para demostrar que el diseño cumple con las bases de certificación seleccionadas. Esta prueba de cumplimiento debe realizarse a través de los ensayos de certificación correspondientes. Estas pruebas pueden llevarse a cabo por declaración/verificación de diseño, por cálculo, por ensayo o por analogía o semejanza.

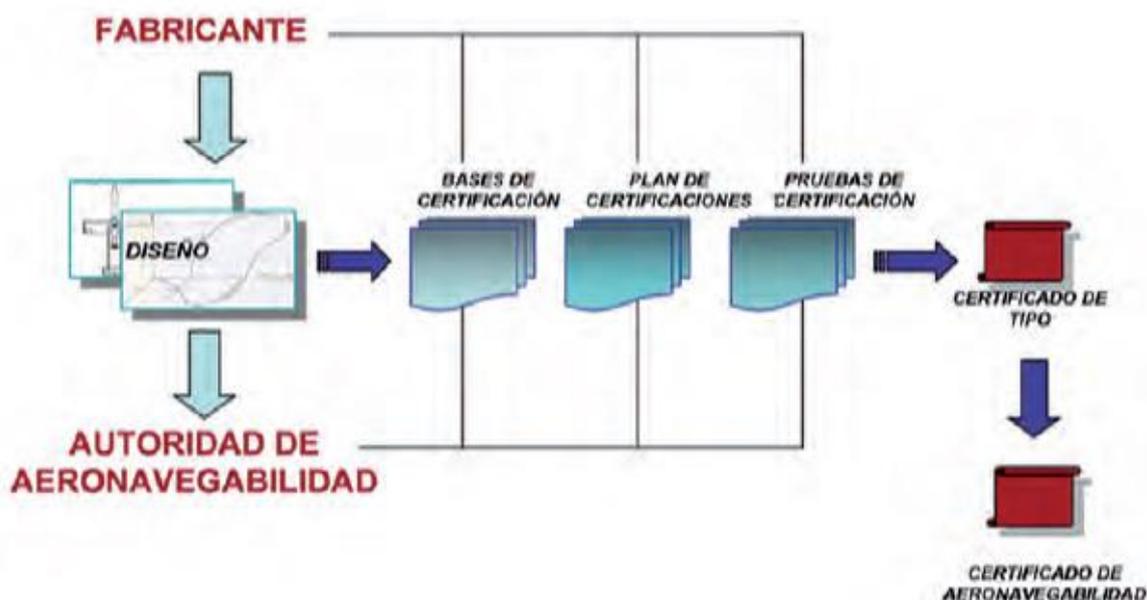


Figura 3.2: Pasos a seguir para la obtención del certificado de aeronavegabilidad.

3.1.2. Certificación UAS

El conjunto de normas utilizadas para la certificación de aeronavegabilidad de un determinado diseño es lo que se denomina «código de aeronavegabilidad» y está constituido por las normas FAR (de la FAA norteamericana) o las CS de EASA (antiguas JAR de la JAA). Este sistema de certificación de la seguridad realizado a través del cumplimiento de determinadas normas, está vigente para aeronaves convencionales y es aceptado internacionalmente, pero no existe un cuerpo de normas equivalente para el caso de los UAS, con el inconveniente adicional de la gran cantidad de diseños y configuraciones distintas que se engloban dentro del concepto UAS. Los estudios que se han realizado al respecto sobre la necesidad de dotar a los UAS de un conjunto de normas que permitieran su certificación,

concluyeron con la necesidad de no crear nuevas normas, ni modificar las ya existentes, sino complementarlas elaborando requisitos adicionales.

De todas las iniciativas que se han llevado a cabo en este tema, la que se ha consolidado ha sido el código USAR (*UAV System Airworthiness Requirements*) basado en las normas CS 23 de EASA, y desarrolladas en el ámbito del grupo FINAS (*Flight In Non-Segregated Air Space*), grupo de trabajo generado dentro del JCGUAV (*Joint Capability Group on UAV*) de la OTAN. Este código de aeronavegabilidad se ha publicado como STANAG 4671 (*Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements*), y está actualmente en fase de ratificación por las naciones miembros.

3.2. Certificación de operadores y mantenimiento

La regulación relativa a la cualificación de las tripulaciones y el personal de mantenimiento de aeronaves tripuladas convencionales se da en las JAR FCL (*Flight Crew Licences*) en Europa y en el 14 CFR Parts 61, 63, 65 y 67 en USA. Estos documentos definen los estándares de cualificación para asegurar que, adicionalmente al mantenimiento de la aeronavegabilidad de la plataforma, la tripulación también ha sido instruida por una autoridad competente, a través de un programa adecuado y que se mantiene un proceso de formación continuada.

En relación a la organización de mantenimiento, en la aviación convencional, los requisitos correspondientes están recogidos en las JAR 145, los correspondientes a las organizaciones de adiestramiento en el mantenimiento están recogidos en las JAR 147 y los correspondientes a los técnicos de mantenimiento, en las JAR 66. Para UAS no se prevén grandes desviaciones sobre lo establecido para aeronaves tripuladas, no obstante el grupo FINAS ha elaborado un borrador de estándar relativo al adiestramiento de los operadores del UAS, el STANAG 4670 (*Recommended Guidance for the Training of Designated UAV Operator DUO*), también en fase de ratificación.

3.3. Reglas del aire para UAS

La situación del UAS frente a otro tráfico aéreo, en las diferentes condiciones de vuelo, se resume en la tabla adjunta. Entre las iniciativas reguladoras sobre la integración de UAS en el espacio aéreo no segregado, la más significativa es el desarrollo de las «Specifications for the use of Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace».

			UAS			
			VFR		IFR	
			VMC	IMC	VMC	IMC
Otras aeronaves	VFR	VMC	Se requiere S&A	No permitido	Se requiere S&A	
		IMC	No permitido	No permitido	No permitido	No permitido
	IFR	VMC	Se requiere S&A	No permitido	Se requiere S&A	
		IMC		No permitido		Ambas aeronaves se comportarían como UAS

Tabla 3.1: Situación de los UAS frente al tráfico aéreo.

Estas especificaciones, publicadas en 2006 por un grupo de trabajo denominado Eurocontrol UAV-OAT-TF, están centradas en las relaciones entre el UAS y el ATM del tráfico aéreo militar, como tráfico aéreo operativo (OAT), no general y se complementará con los estudios que otras agencias están llevando a cabo sobre certificaciones, adiestramiento de tripulaciones, etc.

Estas especificaciones pretenden ser una adaptación de las reglas del aire a los UAS y como tal, se interesan por las reglas de vuelo, las separaciones mínimas a mantener, el Sense and Avoid etc... Damos aquí las especificaciones más características relativas a la reglas del aire y a la función de Sense and Avoid:

- Especificación UAV4: Los UAS deberán asumir las reglas VFR e IFR del mismo modo que las aeronaves pilotadas en vuelos de OAT. Para vuelos VFR el «piloto al mando» del UAS deberá poseer la capacidad de evaluar las condiciones meteorológicas para el vuelo.
- Especificación UAV5: Los UAS se regirán por las mismas reglas de paso que el resto de los usuarios del espacio aéreo.
- Especificación UAV6: Para vuelos OAT en IFR en espacio aéreo controlado, el aseguramiento de las distancias mínimas de separación de realizará a través de las instrucciones del ATC. No obstante pueden darse instrucciones adicionales para eludir tráfico conflictivo con aeronaves desconocidas.
- Especificación UAV7: Para vuelos OAT en VFR, el piloto al mando utilizará la información de vigilancia disponible para ayudar a establecer la separación mínima y la evitación de tráfico conflictivo. Adicionalmente se proporcionará asistencia técnica al piloto al mando para permitirle mantener condiciones VMC y detectar y evitar tráfico conflictivo. Un sistema automático deberá proporcionar «collision avoidance» en caso de pérdida del enlace de comunicaciones de control de la aeronave.
- Especificación UAV8: Un sistema de Sense and Avoid para UAV deberá permitir al piloto al mando del UAV el mantenimiento de la distancia de separación y las acciones de evitación de tráfico que son, normalmente ejecutadas por el piloto en aeronaves tripuladas, y deberá llevar a cabo estas maniobras de evitación en modo autónomo, si las medidas de mantenimiento de la distancia mínima no pueden ejecutarse por cualquier razón. El sistema de Sense and Avoid deberá permitir alcanzar un nivel equivalente de seguridad (ELOS) al de una aeronave pilotada.
- Especificación UAV9: El sistema de Sense and Avoid del UAV notificará al «piloto al mando» cuando otra aeronave tenga previsto pasar a una determinada distancia mínima del UAV y deberá hacerlo con el suficiente tiempo de antelación para permitir al «piloto al mando» del UAV maniobrar para eludir ese tráfico al menos a la distancia declarada o, excepcionalmente, permitir al sistema embarcado maniobrar el UAV de modo autónomo.
- Especificación UAV10: Las funciones de proporcionar separación y evitación de tráfico en un sistema de Sense and Avoid serán independientes la una de la otra siempre que sea posible. En la ejecución de dichas funciones, no deberán interferirse entre ellas.
- Especificación UAV11: en el espacio aéreo controlado, en que el ATC proporciona la separación, la separación mínima entre UAVs operando en condiciones IFR y otro tráfico operando en IFR deberá ser, al menos, la misma que para aeronaves tripuladas volando como OAT en la misma clase de Espacio Aéreo.
- Especificación UAV12: cuando el piloto al mando del UAV sea responsable de mantener la separación, esta deberá ser, excepto en operaciones en entorno

aeroportuario, de al menos 0,5 NM lateralmente y 500 pies verticalmente, entre el UAV y cualquier otro usuario del espacio aéreo, independientemente de cómo se detecte el tráfico conflictivo y de si ha sido anunciado o no por un sistema de Sense and Avoid.

- Especificación UAV13: cuando un UAV inicie una maniobra de evasión de tráfico en modo autónomo, deberá alcanzar las mismas distancias seguras que las indicadas para el ACAS. El sistema deberá ser compatible con ACAS.

4. Arquitecturas

Sobre la clasificación o categorización de UAS, no existe un criterio único e internacionalmente aceptado, aunque para UAS de uso militar, el JCGUAV de la OTAN, consciente de que es preciso unificar el lenguaje para facilitar tanto los procesos de estandarización como el uso compartido o combinado de los UAS, ha propuesto una clasificación basada en el MTOW (peso máximo al despegue) y diferentes categorizaciones basadas en el uso del UAS y su perfil de vuelo.

El espacio aéreo comprendido entre los 3.000 pies y los 60.000 pies está ocupado por los UAS denominados de Clase III (MALE/HALE), siendo estas las categorías más afectadas por la necesidad de integración en espacio aéreo.

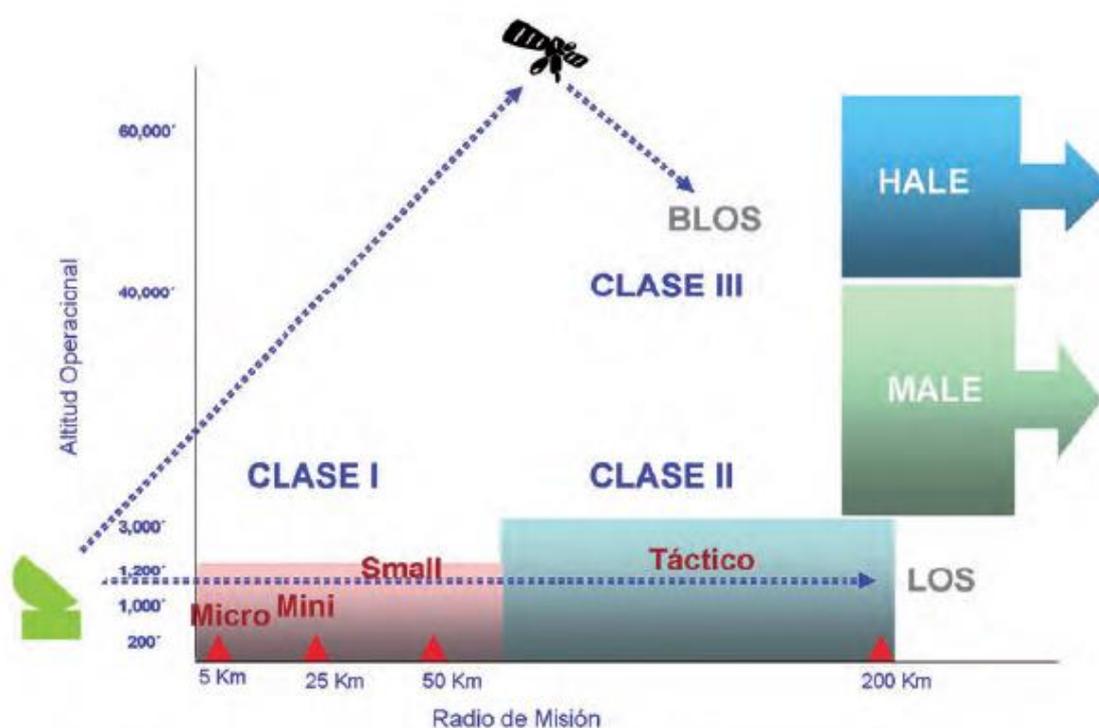


Figura 4.1: Clasificación de los UAV según la altitud y distancia de la misión.

En otras clasificaciones se habla de Short Range (SR), Close Range (CR) o Medium Range (MR) equivalentes a los Clase I (Micro, Mini o Small), actuando por debajo de los 1.200 pies. Por último los denominados Clase II o tácticos suelen operar con un techo de aproximadamente 3.000 pies y al límite de la línea de visión.

La tabla adjunta resume esta categorización y clasificación propuesta:

UAS: CLASIFICACIÓN PROPUESTA EN EL JCGUAV					
Clase (MTOW)	Categoría	Empleo	Altitud Operacional	Radio de Misión	Ejemplo de Plataforma
CLASE III > 650 Kg	HALE (High Altitude Long Endurance)	Estratégico	Hasta 65.000 ft	Sin Límite (BLOS)	 Global Hawk – Imagen 35
	MALE (Medium Altitude Long Endurance)	Operacional/De Teatro	Hasta 40.000 ft	Sin Límite (BLOS)	 Predator B – Imagen 36
CLASE II 150 / 650 Kg	TÁCTICO	Formación Táctica	Hasta 3.000 ft	200 Km (LOS)	 Sperwer – Imagen 38
CLASE I < 150 Kg	SMALL	Unidad Táctica	Hasta 1.200 ft	50 Km (LOS)	 Scan Eagle – Imagen 37
	MINI	Subunidad Táctica	Hasta 1.000 ft	25 Km (LOS)	 Skylark – Imagen 34
	MICRO	Táctico, Pelotón, Sección, personal	Hasta 200 ft	5 Km (LOS)	 Black Widow – Imagen 39

Tabla 4.1: clasificación propuesta por la JCGUAV.

Los límites entre las clases definidas, responden a los siguientes criterios:

- El límite de 650 Kg responde al MTOW (*Maximum Take Off Weight*) de la categoría de aviación deportiva.
- El límite de 150 Kg responde al límite inferior del MTOW propuesto en diferentes ámbitos (NATO o Eurocontrol) para requerir certificaciones de aeronavegabilidad.
- El límite de 3.000 pies responde a la altitud AGL (*Above Ground Level*) mínima para vuelos VFR (*Visual Flight Rules*).
- El límite de 1.200 pies responde al límite superior del espacio aéreo no controlado de clase G.

Otras categorizaciones, como la realizada por el DoD norteamericano, atienden no tanto al MTOW, como al grado de similitud del UAS con las aeronaves convencionales a las que actualmente se aplica el Título 14, parte 91 de las CFR (*Code of Federal Regulations*) de la FAA, denominado «General Operating and Flight Rules» o «Reglas del Aire».

- Categoría I: UAS similares a los aeromodelos radiocontrolados y están cubiertos por la AC 91-57 de la FAA, denominado «Model Aircraft Operating Standard». Estos UAS «pequeños» están normalmente limitados a operaciones LOS. Ejemplos: Pointer, Dragon Eye.
- Categoría II: aeronaves no convencionales, para llevar a cabo operaciones o misiones especiales. Los operadores deben demostrar la apropiada cualificación. Estos UAS pueden desarrollar operaciones rutinarias bajo una serie de requisitos especiales. Ejemplos: Pioneer, Shadow.
- Categoría III: aeronave capaz de utilizar cualquier clase de espacio aéreo, de acuerdo a la 14 CFR Part 1. Requieren certificación de aeronavegabilidad tanto la plataforma como los operadores. Generalmente estos UAS tienen capacidad de realizar operaciones BLOS. Ejemplos: Global Hawk, Predator.

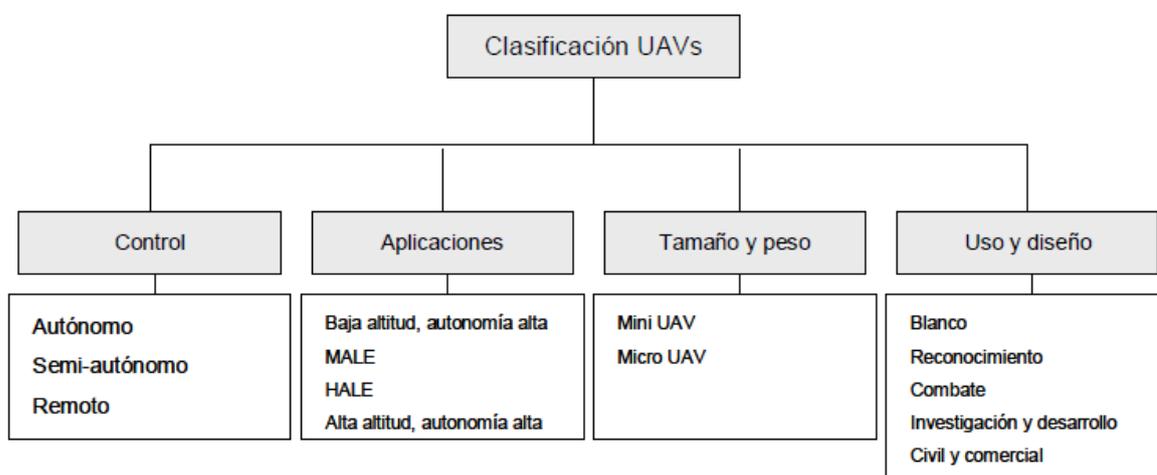


Figura 4.2: Clasificación de los UAV según su modo de control, aplicación, tamaño y peso y su uso y diseño.

4.1. UAV de despegue no vertical

Dentro de las clasificaciones de los distintos UAV que podemos encontrar, tenemos aquella según el tipo de despegue y por consiguiente según el tipo de sustentación de la aeronave:

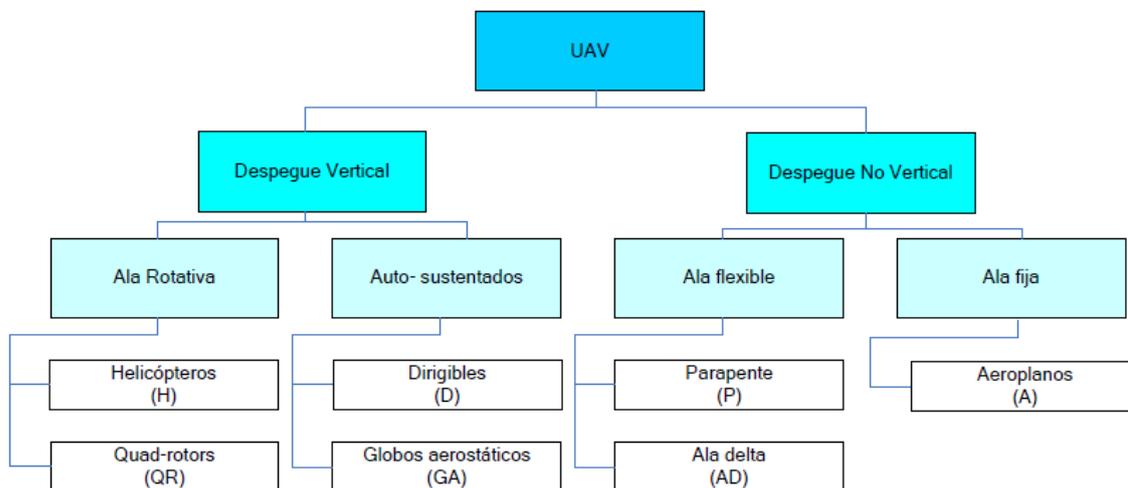


Figura 4.3: Clasificación de los UAV según el tipo de despegue.

4.1.1. Ala fija

Su principal ventaja es la facilidad de control y guiado así como su alta fiabilidad a diferentes altitudes y condiciones meteorológicas. El inconveniente más notable es su falta de maniobrabilidad en espacios reducidos. Por ello se hacen especialmente adecuados para misiones en espacios amplios a cortas y medias distancias del punto de partida.



Figura 4.4: UAV de ala fija de despegue por lanzadera.

4.1.2. Ala flexible

El UAV de ala flexible tiene como principales ventajas su altitud del vuelo (unos 5000 metros), tiempo largo de la travesía, amplia gama, pequeño volumen y peso ligero. Sus aplicaciones van desde usos en agricultura y meteorología hasta sectores de la protección contra incendios.



Figura 4.5: UAV de despegue no vertical de ala flexible.

4.2. UAV de despegue vertical (VTOL)

En contraposición con los UAV de despegue no vertical, tenemos los de despegue y aterrizaje vertical o VTOL (*Vertical Take Off and Landing*). Estos se componen de los modelos de ala rotatoria (helicópteros) y multirotores (quadcopters, hexacopters, etc...).

4.2.1. Ala rotatoria

Los helicópteros son sin duda uno de los vehículos más utilizados en labores de inspección o vigilancia. Su gran ventaja es la realización de vuelo estacionario, con alta capacidad de maniobrabilidad en entornos reducidos. Por el contrario, presentan gran dificultad de control. Son adecuados para inspección y vigilancia en entornos de tamaño reducido (centenas de metros o algún kilómetro).



Figura 4.6: UAV de despegue vertical de ala rotatoria.

4.2.2. Multirotor

Al igual que los helicópteros son capaces de realizar vuelo estacionario en entornos muy reducidos. La gran desventaja es la poca autonomía y su difícil control.



Figura 4.7: Quadcopter y hexacopter UAV.

4.2.3. Auto-sustentados

Esta plataforma destaca por su estabilidad en el aire, ya que es un vehículo que flota por sí mismo y posee una gran autonomía. Además resultan fáciles de controlar en entornos climáticos adecuados, pero son muy sensibles al viento. En su contra se resalta la reducida relación capacidad de carga / volumen. Son muy adecuados para tareas de interiores en las que prima la seguridad, como puede ser grabaciones en puntos elevados para vigilancia.



Figura 4.8: Dirigible UAV.

Característica	Helicópteros	Aeroplanos	Dirigibles	Quad-rotors
Capacidad de vuelo estacionario	***		****	***
Velocidad de desplazamiento	***	****	*	**
Maniobrabilidad	***	*	*	****
Autonomía de vuelo (tiempo)	**	***	****	*
Resistencia a perturbaciones externas (viento)	**	****	*	**
Auto Estabilidad	*	***	****	**
Capacidad de vuelos verticales	****	*	**	****
Capacidad de carga	***	****	*	**
Capacidad de vuelo en interiores	**	*	***	****
Techo de vuelo	**	****	***	*

Tabla 4.2: Características de los UAV según su arquitectura.

Categoría	Acrónimo	Alcance (km)	Altitud de vuelo (m)	Autonomía (horas)	Carga máxima en despegue (kg)	Tipo de aeronave
Micro	μ(Micro)	< 10	250	1	< 5	H,A,otros
Mini	Mini	< 10	150 a 300	< 2	< 30	H,A, P, Otros
Alcance cercano	CR	10 a 30	3.000	2 a 4	150	H,A,P,Otros
Alcance corto	SR	30 a 70	3.000	3 a 6	200	A,Otros
Alcance medio	MR	70 a 200	5.000	6 a 10	1.250	A, Otros
Altitud baja Penetración profunda	LADP	> 250	50 a 9.000	0,5 a 1	350	A
Autonomía media	MRE	> 500	8.000	10 a 18	1.250	A,H
Autonomía alta Altitud baja	LALE	> 500	3.000	> 24	< 30	A
Autonomía alta Altitud media	MALE	> 500	14.000	24 a 48	1.500	A,H
Autonomía alta Altitud alta	HALE	> 2000	20.000	24 a 48	12.000	A
Combate	UCAV	aprox. 1500	10.000	aprox. 2	10.000	H,A
Ofensivo	LETH	300	4.000	3 a 4	250	A
Señuelo	DEC	0 a 500	5.000	< 4	250	A,H
Estratosférico	STRATO	> 2000	Entre 20.000 y 30.000	> 48	ND disponible) (no	A
Exo-estratosférico	EXO	ND	> 30.000	ND	ND	A

Tabla 4.3: Características de vuelo de los UAV según su arquitectura.

4.3. UAVs comerciales

Se han encontrado una gran variedad de suministradores de UAVs tanto de ala fija como rotatoria de los cuales se han seleccionado tres agrupados en dos grupos:

- **Grupo Acre y Airelectronics:** Alquiler y venta de UAVs de ala fija y rotatoria de alcance cercano, kits completos y venta de equipos electrónicos de comunicación, control y sensado además de software especializado para control de vuelo y modelado de imágenes.
- **USOL (*Unmanned Solutions*):** alquiler y venta de UAVs de alcance medio y sistemas completos.

4.3.1. Hexacóptero Aibotix (Grupo Acre)

El grupo Acre proporciona un hexacóptero muy interesante, el Aibotix 6, el cual ya tiene incluidos todos los sistemas necesarios para el control de vuelo y las comunicaciones, equipos que veremos posteriormente en el capítulo siete (*Equipos Electrónicos de Control y Comunicaciones*). Simplemente hay que instalar el equipo de sensado adecuado a la misión:



Figura 4.9: Hexacóptero Aibotix 6 montado con una cámara termográfica T640 de Flir y micro cámara SMART con DSP.

CARACTERÍSTICAS

Longitud/anchura	3.4 pies
Altura	1.5 pies
Estructura/armazón	Fibra de carbono
Peso	2.450 g
Peso máximo incl. peso máximo carga y una batería	Aprox. 5.000 g (dependiendo de la carga disponible)
Carga máxima	2.500 g
Velocidad máxima	55.9 mph (90Kmh)
Velocidad ascenso	22.4 mph (36Kmh)
Altitud/Altura de vuelo	Hasta 13123 pies sobre el nivel del mar hasta 6560 pies sobre el nivel del suelo
Tiempo de vuelo	Hasta 30 minutos (dependiendo de la carga disponible)
Temperatura	32-104 F°
Sensores	GPS, giroscopio, 8 sensores ultrasónicos, sistema de cámara smart con DSP
Control	Tablet-PC (opcional)
Batería	Litio polimérico 6000 – 10000 mA

Existe un paquete básico que incluye los artículos: X6-BKP + X6-LVP por 32200€ más caja de aluminio para transporte X6-BOX 900€. Con esta configuración se pueden hacer los videos y las fotografías viéndolas en la pantalla de la estación base.

La versión profesional X6-BKPPV incluye el X6-BKP + X6-TAB + X6-GSSW + X6-LVP que serían 39900 €. En esta opción también habría que incluir, si es de interés, la caja de aluminio para transporte X6-BOX.

Ambos llevan la PLATAFORMA GIROESTABILIDAZADA que te permitirá obtener las imágenes en posición cenital, o en cualquier otra posición ya que la plataforma se puede girar en un rango de 90° y conservará esa posición corrigiendo cualquier variación debido al movimiento del hexacóptero o del viento.

4.3.2. Avión Skywalker kit (Airelectronics)

El Kit Skywalker es la plataforma perfecta para comenzar en el mundo de UAVs. Este vehículo de bajo coste permite poner en el aire una carga de pago sin una gran inversión.

El avión está basado en materiales COTS (Solución Comercial Lista para su Uso) y está adaptado para ser un UAV completo. La estructura de materiales compuestos y EPO hace del avión un vehículo realmente ligero (1.3 kg sin carga de pago) y lanzable a mano. El bajo peso permite realizar aterrizajes en casi cualquier superficie sin dañar el fuselaje. La carga de pago puede alcanzar un peso máximo de 1.2 kg, dotando al sistema de una gran relación carga de pago/peso.

El cerebro del sistema es el ultra-probado U-Pilot, embebido en el fuselaje para maximizar el volumen disponible para carga de pago. U-Pilot es adaptable a cualquier carga de pago y puede controlar cámaras de serie, incluyendo geo-referencia de la imagen.

Con un ordenador estándar, el sistema está listo para volar. El Kit Skywalker puede volar de manera autónoma desde el despegue hasta el aterrizaje, de modo que el operador no necesita experiencia previa. Mediante el ordenador, ejecutando U-See, el usuario puede planificar, volar y modificar la misión del UAV en tiempo real. A continuación se muestran un par de ejemplos de aplicación.

CARACTERÍSTICAS

<i>Flight control Specification</i>	<i>Minimum Hardware for Control Computer</i>
<p>Flight control</p> <p>Attitude Estimation & control..... 1000Hz rate Flight-plan..... Up to 32 way-points Speed Control..... Auto-throttle Take-Off & Landing..... Automatic</p> <p>GPS Positioning</p> <p>SBAS..... Global coverage Differential navigation..... available on request</p> <p>Interface with Payloads & Actuators</p> <p>PWM & GPIO outputs..... 15 PWM rate (configurable)..... 50 Hz or 333 Hz RS-232 ports..... 4 RS-232 compliant ports RS-232 Rates..... 9600 - 115200 bps External ADC channels..... 3 channel 12bit - 0-30 V Main Voltage supply supervisor</p> <p>Telemetry</p> <p>Data-Link Frequency 900MHz/1.4 Ghz/2.4GHz Power..... 1 W Range..... 100 km / 80km / 40 km baud rate..... 115200 bps</p> <p>Air Data System</p> <p>Dynamic pressure sensor range..... 0 - 200 km/h Static pressure, low altitude option 0-2000 m Static pressure, high altitude option..... 0-4000 m</p> <p>Camera Control</p> <p>Protocols..... VISCA® & PWM Other protocols upon request Camera modes..... Geo-Pointed, Stable, Manual</p>	<p>The recommended hardware is the MacBook Pro 13" with BootCamp and Microsoft Windows 7.</p> <p>OS..... Linux, Windows or MacOS X Processor..... Intel Core i5 RAM..... 2GB Hard drive..... 1 free Gb Video Card..... OpenGL supported Screen..... at least 13" Ports 1 RS-232 port (native or through USB adaptor)</p> <p>Plane Specification</p> <p>Dimensions</p> <p>Length..... 1100 mm Wing Span..... 1680 mm/1880mm (Two Options available) Payload Bay..... 3450 cm³</p> <p>Weights</p> <p>Empty Weight..... 1,3 kg. Maximum Take-Off Weight..... 3,0 kg.</p> <p>Endurance</p> <p>5000 mAh battery option..... 30 min minimum 10000 mAh battery option..... 1 hour minimum Typical Cruising speed..... 45 km/h</p>



Figura 4.10: Aeroplano Skywalker de Airelectronics.

4.3.3. Helicóptero Benzine (Airelectronics)

El Kit Benzine es el punto de partida perfecto para trabajar con UAVs de ala rotatoria. Basado en el popular helicóptero Vario Benzine RC y controlado por el hardware embarcado U-Pilot (ver capítulo 7.2), posee capacidad de vuelo autónomo y permite entrenar al personal en la operación de UAVs de ala rotatoria sin arriesgar vehículos más caros. Desde el despegue hasta el aterrizaje, U-Pilot guiará el UAV sin problemas. Todo el sistema se controla en tiempo real a través de software U-See (ver capítulo 7.3.2) en un ordenador convencional.

Equipado con una cámara, se convierte en un asequible UAV que puede examinar torres de alta tensión, observación de cultivos, evaluación de fuegos forestales, vigilancia aérea, etc.



Figura 4.11: Helicóptero Benzine de Airelectronics.

Airelectronics recomienda el uso de un **magnetómetro externo**; Si se están volando cuadricópteros o helicópteros, a menudo se desea que se queden en una sola posición. El GPS (sólo puede calcular una dirección en un vector cuando se mueve hacia adelante) no será capaz de corregir la deriva en el “*derrape*” del giro. El magnetómetro puede corregirlo incluso cuando el vehículo no está en movimiento (Estático).

CARACTERÍSTICAS

<i>Flight control Specification</i>	<i>Minimum Hardware for Control Computer</i>
<p>Flight control Attitude Estimation & control..... 1000Hz rate Flight-plan..... Up to 32 way-points Speed Control..... Auto-throttle Take-Off & Landing..... Automatic</p> <p>GPS Positioning SBAS..... Global coverage Differential navigation..... available on request</p> <p>Interface with Payloads & Actuators PWM & GPIO outputs..... 15 PWM rate (configurable)..... 50 Hz or 333 Hz RS-232 ports..... 4 RS-232 compliant ports RS-232 Rates..... 9600 – 115200 bps External ADC channels..... 3 channel 12bit - 0-30 V Main Voltage supply supervisor</p> <p>Telemetry Data-Link Frequency900MHz/1.4 Ghz/2.4GHz Power..... 1 W Range..... 100 km / 80km / 40 km baud rate..... 115200 bps</p> <p>Air Data System Dynamic pressure sensor range..... 0 – 200 km/h Static pressure, low altitude option 0-2000 m Static pressure, high altitude option..... 0-4000 m</p> <p>Camera Control Protocols..... VISCA® & PWM Other protocols upon request Camera modes..... Geo-Pointed, Stable, Manual</p>	<p>The recommended hardware is the MacBook Pro 13" with BootCamp and Microsoft Windows 7. OS..... Linux, Windows or MacOS X Processor..... Intel Core i5 RAM..... 2GB Hard drive..... 1 free Gb Video Card..... OpenGL supported Screen..... at least 13" Ports 1 RS-232 port (native or through USB adaptor)</p> <p style="text-align: center;"><i>Aircraft Specification</i></p> <p>Dimensions Main Rotor..... 1800 mm Length..... 1460 mm Width..... 200 mm Height..... 520 mm</p> <p>Weights Empty Weight..... 7,6 kg. Maximum Take-Off Weight..... 11,0 kg.</p> <p>Endurance Full Fuel Tank..... 25 min. Other fuel tanks are available to extent endurance</p>

4.3.4. Avión K-50 (USol – Unmanned Solutions)

El K50 es el vehículo de menores dimensiones de la serie "K" de U-Sol. Con 50 kg de peso máximo al despegue y cuatro metros de envergadura ha sido desarrollado especialmente para cubrir las necesidades de centros de investigación que quieran utilizar sistemas no tripulados para la realización de ensayos en vuelo con un presupuesto contenido.

El K50 está construido con materiales mixtos: El fuselaje es de fibra de vidrio y las alas, de cuatro metros de envergadura, son de materiales compuestos. Dispone de un alternador de hasta 600 W, adecuado para alimentar equipos de experimentación. Tiene una carga útil de 20 kg y una capacidad de 20 litros de combustible lo que le permite alcanzar hasta 5 horas de autonomía. Su precio ronda los 350000€.



Figura 4.12: Avión K-50 de Usol.

A diferencia de los otros UAV vistos anteriormente, este modelo no viene equipado con los sistemas embarcados de control de vuelo y comunicaciones

En resumen, para tener un sistema funcional completo, se necesita adquirir, por lo menos:

- Hardware de Aire.
- Hardware de Tierra.
- Licencia del software de tierra.
- Kit de instalación para Hardware de Tierra y Aire.
- Si se trata de un vehículo de ala rotatoria, un magnetómetro externo.
- Adaptación de los parámetros del autopiloto para la plataforma en concreto. La complejidad de este proceso depende del vehículo a integrar.
- Curso de cinco días para obtener el certificado de usuario como operador cualificado de nuestro sistema.

Los costes de adaptación y formación dependen en gran medida de la ubicación de destino y del sistema a integrar en particular.

5. Aplicaciones de los UAS

Las misiones o tareas encomendadas normalmente al UAS, tanto en su uso civil como militar, obedecen a lo que coloquialmente se conocen como misiones 3D: «*Dull, Dirty and Dangerous*», es decir misiones tediosas, en ambiente contaminado, o peligrosas. Las misiones militares más representativas y extensas, responden básicamente a las de Inteligencia (de imágenes IMINT o de señales SIGINT), Vigilancia y Reconocimiento (ISR), Adquisición de Objetivos (TA), o combinación de ambas (ISTAR), Apoyo a la Artillería para Adquisición de Blancos, Corrección de Tiro y Evaluación de Daños, Relé de Comunicaciones, Guerra Electrónica (ESM, ECM, ECCM) o misiones ofensivas (para losUCAVs), como Supresión de Defensas Aéreas (SEAD), Apoyo Aéreo Cercano (CAS) etc.

Las misiones civiles suelen referirse a las de adquisición y seguimiento de objetivos en tareas de vigilancia de fronteras, labores de captación de datos meteorológicos u oceanográficos, repetidor de comunicaciones, vigilancia y supervisión de líneas eléctricas u oleoductos, vigilancia de amplias zonas en tareas de prevención de incendios etc.,

5.1. Aplicaciones militares

Contar con un vehículo aéreo no tripulado puede ser útil en misiones de reconocimiento, para planear tácticas, observar instalaciones desde el aire o realizar tareas de escolta a un convoy militar. Son en particular especialmente interesantes las tareas de vigilancia de fronteras y zonas de acceso restringido, con la posibilidad de establecer una patrulla constante en la zona a proteger y realizar una detección automática de las situaciones de riesgo, disparando una alarma de supervisión manual.

5.2. Aplicaciones civiles

Los beneficios de la aplicación de este proyecto para la colaboración con el medio ambiente son numerosos:

- Evita discurrir por dichas zonas con vehículos terrestres: menor emisión de ruido.
- Menor impacto durante la inspección: alimentación eléctrica.
- No emisión de gases efecto invernadero: reducción de costes.
- Incremento de frecuencia de inspecciones: tamaño menor.
- Reducción del impacto en avifauna: no tripulado.
- Reducción al mínimo de consecuencias en caso de accidente.

Entre las principales aplicaciones de UAVs civiles nos encontramos:

- Control de tráfico e inspección de carreteras, vías y líneas de transporte en general.
- Misiones de control de narcotráfico, misiones de búsqueda policial, fronteras y terrorismo.

- Topografía: fotografía aérea con realización de mapas y deslinde de fincas (uso catastral).
- Control de cosechas, agricultura y paisaje (estudio de suelos).
- Investigación del entorno ecológico y meteorológico: cambio climático, catástrofes naturales y seguimiento.
- Localización de accidentes en lugares de difícil acceso.
- Gestión de crisis originadas por desastres naturales, como inundaciones o terremotos.
- Seguimiento de movimientos migratorios, recuento de animales, plagas y detección de bancos de pesca.
- Rápida detección de incendios y el seguimiento de su evolución.
- Inspección de líneas eléctricas de alto voltaje.
- Comunicaciones de telefonía móvil e Internet.

Aplicación	Ejemplo	Tipo de aeronave más frecuente
Inspección de infraestructuras	Líneas eléctricas Oleoductos y Gaseoductos	H
Inspección de obra civil	Puentes, viaductos, presas	
Vigilancia de Fronteras	Inmigración ilegal Contrabando	H,A
Supervisión de Tráfico		H
Patrulla marítima	Inmigración ilegal Contrabando	A
Filmografía	Cine Reportaje fotográfico	H,A
Reconocimiento y toma de datos en desastres naturales	Huracanes Riadas Volcanes	H,A
Levantamiento de mapas	Topografía	A
Climatología	Toma de muestras y monitorización de partículas en Aerosol Monitorización de contaminación atmosférica	H,A,D
Agricultura	Aplicación de fumigantes Análisis del estrés hídrico Agricultura de precisión	H
Intervención en desastres no naturales	Radioactivos Vertidos contaminantes (Petróleo) Incendios forestales	H,A
Enlace de comunicaciones		A,H
Localización de recursos naturales	Pesca Minería	A,H
Transporte de paquetería		A
Búsqueda y rescate	Nafragios Accidentes en montaña o zonas de difícil acceso	H

Tabla 5.1: Aplicaciones civiles más comunes con el tipo de UAV adecuado.

Los drones o UAV tienen un gran potencial en áreas muy diversas, ya que puede desplazarse rápidamente sobre un terreno irregular o accidentado y superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo imágenes a vista de pájaro y otro tipo de información recogida por diferentes sensores.

Un sistema con múltiples robots UAV es más robusto aún, debido a la redundancia que esto ofrece. Permite la cooperación en paralelo entre los drones, ayudándose unos a otros para, por ejemplo, cubrir grandes áreas en exteriores o crear redes de sensores móviles. Estos enjambres de vehículos aéreos no tripulados pueden desplegarse para realizar tareas de búsqueda ante cualquier tipo de desastre natural, como terremotos o ataques terroristas, ayudando a localizar a personas que puedan necesitar ayuda.

A modo de ejemplo se exponen algunas de las aplicaciones donde los UAVs pueden ser muy útiles.

5.2.1. Búsqueda de personas desaparecidas:

El uso de varios helicópteros de forma automática puede reducir considerablemente el tiempo de búsqueda. Uno o más drones de tipo helicópteros pueden buscar personas desaparecidas en lugares abiertos o de difícil acceso como zonas montañosas o nevadas. El reducido tamaño de estos UAV, permite tenerlos siempre disponibles en estaciones de montaña, reduciendo considerablemente el tiempo de búsqueda.



Figura 5.1: Búsqueda de personas desaparecidas mediante el uso de UAS.

El bajo coste de estos drones comparados con el coste de un helicóptero tradicional los hacen idóneos para esta tarea (un helicóptero tradicional es al menos de 30 a 60 veces más caro, y supone riesgo de vidas humanas, alto consumo de combustible, etc).

5.2.2. Fotografía, vídeo y cartografía aérea:

Cualquier aplicación que necesite captar imágenes desde el aire de forma sencilla y rápida. Existe un amplio mercado para estas aplicaciones: recuento de árboles en una finca afecta a subvenciones, realización de fotografías y vídeos publicitarios de carácter comercial para inmuebles, campos de golf, hoteles, etc. En este campo se consiguen las siguientes ventajas con el uso de nuestros UAVs:

- Reducción general de precio, en especial frente a alternativas pilotadas.
- Mejora de las prestaciones: mayor estabilidad (que permite mejores fotografías) sin renunciar al dinamismo (renuncia propia de los zeppelines) y posibilidad de vuelo a bajas velocidades y cerca del suelo o de obstáculos.
- Simplificación del proceso.
- Automatización del proceso cuando es necesario fotografiar un área más grande.
- Obtención de mapas 3D de un terreno.
- Reducción del tiempo de trabajo.
- Reducción de los efectivos humanos necesarios: Una única persona puede realizar el trabajo.



Figura 5.2: Fotografía aérea mediante UAS.

5.2.3. Prevención y control de incendios:

En el campo forestal, los drones o UAVs permiten la supervisión constante, en horas de alto riesgo, de un área boscosa, en busca de puntos activos o conatos de incendio. El vehículo no tripulado puede supervisar una amplia zona boscosa desde el aire, sin riesgo de vidas humanas y reduciendo los costes comparado con los activos humanos necesarios para desarrollar la misma tarea.

Además, los UAV pueden trabajar de forma individual o en colaboración (mediante técnicas de *swarm intelligence*) en la coordinación de retenes en caso de incendios, en la detección de focos activos y en el estudio aéreo de la evolución del fuego.



Figura 5.3: Control de incendios mediante el uso de UAS.

5.2.4. Otras aplicaciones

Infinidad de aplicaciones que pueden desarrollarse a medida para tareas concretas:

- Medio Ambiente: Parametrización del índice de contaminación lumínica para elaborar mapas de polución lumínica y monitorizar la eficiencia de medidas ecoenergéticas; control y seguimiento de accidentes industriales con vertidos tóxicos en medios acuáticos y terrestres; control de áreas de depósito y almacenaje de residuos industriales y de su tratamiento.
- Agricultura: Control y monitorización del estado de los cultivos mediante imágenes multiespectrales, control de la eficiencia de regadíos. Conteo y supervisión de producción agrícola subvencionada (por ejemplo, número de árboles).
- Geología: Realización de mapas geológicos sedimentológicos, mineralógicos y geofísicos, control y monitorización de explotaciones mineras y su impacto ambiental: movimientos de tierras, producción de áridos, residuos metálicos, balsas

de decantación, etc. Determinación y control a escala centimétrica de áreas con riesgos geológicos asociados o caracterización de zonas con riesgo de aludes utilizando imágenes multiespectrales para determinar la humedad de la nieve, cámaras térmicas para determinar su temperatura y técnicas estereoscópicas para determinar grosores.

- Construcción e inspecciones: Inspección de obras desde el aire. Estimación de impacto visual de grandes obras.
- Control y análisis de multitudes: Manifestaciones, conciertos, etc.
- Investigación de una escena de un crimen desde el aire: Accidentes de tráfico.
- Exploración de lugares de difícil acceso: Cuevas, precipicios, etc.
- Movilidad y Tráfico: Grabación y monitorización de la situación del tráfico.

6. Equipos electrónicos de sensado

La arquitectura de un sistema de observación aérea mediante UAVs está formada de cuatro subsistemas independientes entre ellos a nivel de desarrollo y vinculados, entre sí, a nivel funcional. Los subsistemas son:

- Plataforma de vuelo. Se compone del UAV y la carga útil a bordo de éste (cámaras de alta resolución y otros sensores). Se caracteriza por ser la encargada de sobrevolar la zona de interés y adquirir información.
- Sistema de control de vuelo. Se compone de receptores GPS+EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) integrados en la plataforma en vuelo. Se caracteriza por ser el encargado de georeferenciar la información adquirida por la plataforma en vuelo y contribuir al control del UAV.
- Sistema de comunicaciones. Se compone de enlaces de comunicación, vía radio, entre la estación de control y el vehículo aéreo no tripulado. Se caracteriza por ser el encargado de transferir la información adquirida por la plataforma en vuelo y garantizar la comunicación entre el centro de control y la plataforma de vuelo.
- Sistema de Información geográfica. Se compone de equipos capaces de realizar el análisis gráfico de la información adquirida mediante sensores a bordo de la plataforma de vuelo e integrarla en una cartografía.

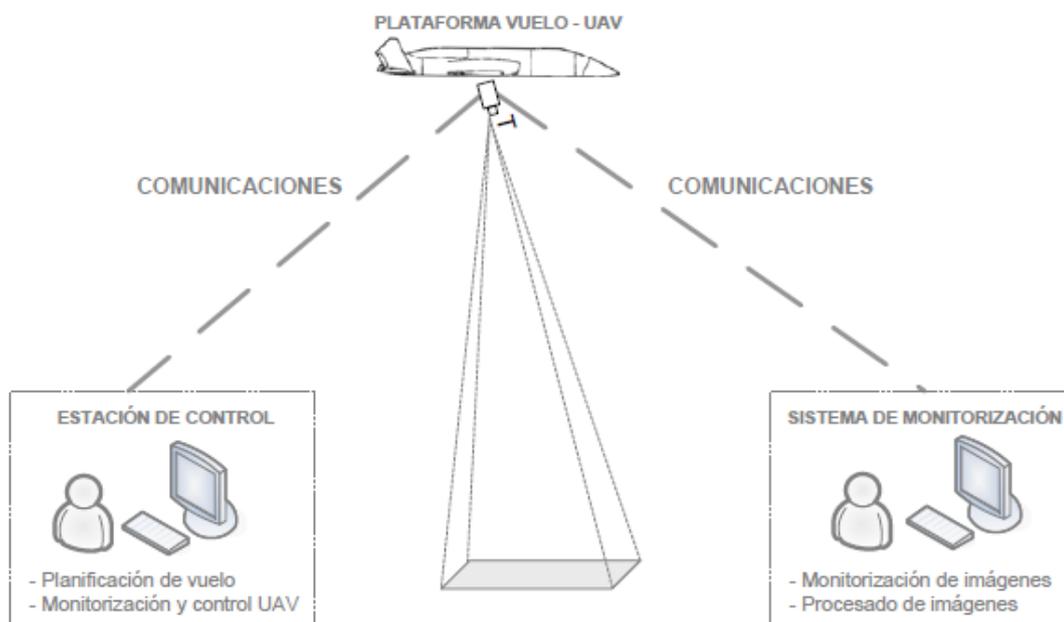


Figura 6.1: Subsistemas de un UAS.

6.1. Cámaras fotográficas y de video

Debido al gran avance tecnológico experimentado en la ingeniería óptica y visión computacional, la robótica, aviónica, sistemas de navegación/control y en la fabricación en miniatura de aviones, helicópteros, multi-rotores, globos, dirigibles y otras aeronaves no tripuladas (UAV/UAS) es posible hoy en día disponer de una solución fotogramétrica versátil, de rápido despliegue en lugares remotos y que entregue información detallada comparable con la de un vuelo LiDAR. El resultado estándar es una *ortoimagen* y un DSM generado a partir de una nube de puntos 3D determinados fotogramétricamente. Una resolución espacial típica para estos productos es de 5 cm y este gran nivel de detalle y volumen de datos resultante se puede visualizar con facilidad utilizando el software Global Mapper.

Utilizando una cámara digital no métrica de alta resolución en una UAV/UAS o aeronave versátil de vuelo lento y bajo, se puede proporcionar una cobertura fotográfica actualizada del proyecto o área de interés. Estas fotos o imágenes de video podrían ser georeferenciadas con GPS e incorporadas en sus maquetas 3D o software CAD/SIG integradas con otras capas de información. Es una excelente manera de mostrar un proyecto a inversionistas o a la comunidad como una forma de lograr una participación ciudadana efectiva.



Figura 6.2: Cámara fotográfica y de video para UAS.

6.1.1. Cámaras de video comerciales

La empresa *Grupo Acre* suministra una cámara de vídeo de reducido tamaño, Go Pro Hero 3, ideal para utilizar en UAV. De esta forma se puede ver el vuelo de la misión “*como si se estuviera pilotando dentro del propio UAV*”.

La cámara GO PRO Hero es una opción perfecta para su uso en UAV como cámara principal o como cámara secundaria para combinar, por ejemplo con cámaras termográficas.

- Diseño reducido y ligero que hace posible su utilización como cámara adicional en UAV

- Captura inmersiva en gran angular. Su óptica gran angular permite un ángulo de visión mayor.
- Vídeos en HD y fotos de 12 MP de calidad profesional
- Wi-Fi integrada permite el control remoto a través del Wi-Fi Remote y la vista previa mediante tablet o smartphone con la app gratuita de GO PRO
- Compatible con LCD Touch BacPac™ y Battery BacPac™ de segunda generación
- Compatibilidad inversa con BacPacs™ de generaciones anteriores



Figura 6.3: Cámara de video para UAV.

6.2. Cámaras multiespectrales

Las cámaras multiespectrales permiten monitorear los pequeños cambios en la radiación visible e infrarroja que las plantas reflejan. Los cultivadores utilizan estos datos para detectar plantas bajo estrés, controlar su crecimiento o realizar multitud de funciones útiles en el manejo de los cultivos. Las variaciones infrarrojas indican cambios en la vegetación mucho antes de que aparezcan en el espectro visible.



Figura 6.4: Cámara multiespectral Tetracam ADC Air.

Estos mismos sistemas que se utilizan en agricultura son también aplicables en biología, ciencias forestales, investigación ambiental, vigilancia e inspección de infraestructuras.

6.3. Rádar láser (LIDAR)

El LIDAR (Light Detection And Ranging) es un sistema que permite obtener una nube de puntos del terreno tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado (ALS). Para realizar este escaneado se combinan dos movimientos. Uno longitudinal dado por la trayectoria del avión y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner. El láser normalmente trabaja en una longitud de onda de 532 a 1550 nm. La precisión en la altura suele estar marcada entre 5 cm y 10 cm, según la mayoría de especificaciones, pero este valor puede ser mayor.

Para conocer las coordenadas de la nube de puntos se necesita la posición del sensor y el ángulo del espejo en cada momento. Para ello el sistema se apoya en un sistema GPS diferencial y un sensor inercial de navegación (INS). Conocidos estos datos y la distancia sensor-terreno obtenida con el distanciómetro obtenemos las coordenadas buscadas. El resultado es de decenas de miles de puntos por segundo.

Los componentes del LIDAR son:

- ALS Escáner Láser Aerotransportado. Emite pulsos de luz infrarroja que servirán para determinar la distancia entre el sensor y el terreno.
- GPS Diferencial. Mediante el uso de un receptor en el avión y uno o varios en estaciones de control terrestres (en puntos de coordenadas conocidas), se obtiene la posición y altura del avión.
- INS Sistema Inercial de Navegación. Nos informa de los giros y de la trayectoria del avión.
- Cámara de video digital (opcional), que permite obtener una imagen de la zona de estudio, que servirá para la mejor interpretación de los resultados. Esta puede montarse en algunos sistemas junto al ALS.
- Medio aéreo. Puede ser un avión o un helicóptero. Cuando se quiere primar la productividad y el área es grande se utiliza el avión, y cuando se quiere mayor densidad de puntos se usa el helicóptero, debido a que este puede volar más lento y bajo.

Las medidas obtenidas por los tres componentes principales, ALS, GPS e IMU, se toman con una misma etiqueta de tiempos acorde con el GPS. De esta forma después se pueden relacionar fácilmente en el cálculo posterior.

El sistema Lidar obtiene también la siguiente información.

- Por cada pulso emitido puede captar 2 o más ecos. Esto nos permite recoger información a diferentes alturas. Por ejemplo, si estamos sobrevolando una zona arbolada, el primer eco puede responder a la copa de los árboles y el último a la superficie terrestre.

- La intensidad reflejada puede ser muy útil para la clasificación posterior.



Figura 6.5: LIDAR aéreos de las marcas RIEGL y VELODYNE.

6.3.1. Clasificación

Por tipo de láser:

- **LIDAR de pulsos.** El proceso para la medición de la distancia entre el sensor y el terreno se lleva cabo mediante la medición del tiempo que tarda un pulso desde que es emitido hasta que es recibido. El emisor funciona emitiendo pulsos de luz.
- **LIDAR de medición de fase.** En este caso el emisor emite un haz láser continuo. Cuando recibe la señal reflejada mide la diferencia de fase entre la emitida y la reflejada. Conocida esta solo hay que resolver el número de longitud de ondas enteras que ha recorrido (ambigüedades).

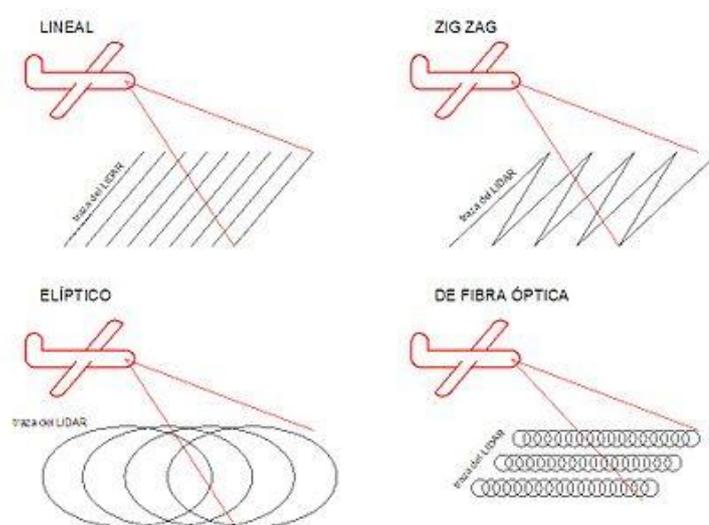


Figura 6.6: Tipos de escaneo LIDAR.

Por tipo de escaneado:

- **Lineal.** Dispone de un espejo rotatorio en un solo sentido que va desviando el haz láser. Produce líneas paralelas en el terreno como patrón de escaneado. El inconveniente principal de este sistema es que al girar el espejo en una sola dirección no siempre tenemos mediciones.
- **Zigzag.** En este caso el espejo es rotatorio en dos sentidos (ida y vuelta). Produce líneas en zigzag como patrón de escaneado. Tiene la ventaja de que siempre está midiendo pero al tener que cambiar de sentido de giro la aceleración del espejo varía según su posición. Esto hace que en las zonas cercanas al límite de escaneado lateral (donde varía el sentido de rotación del espejo), la densidad de puntos escaneados sea mayor que en el nadir.
- **De fibra óptica.** Desde la fibra central de un cable de fibra óptica y con la ayuda de unos pequeños espejos, el haz láser es desviado a las fibras laterales montadas alrededor del eje. Este sistema produce una huella en forma de una especie de circunferencias solapadas. Al ser los espejos pequeños, la velocidad de toma de datos aumenta respecto a los otros sistemas pero el ángulo de escaneado (FOV) es menor.
- **Elíptico (Palmer).** En este caso el haz láser es desviado por dos espejos que producen un patrón de escaneado elíptico. Como ventajas del método podemos comentar que el terreno es a veces escaneado desde diferentes perspectivas aunque el tener dos espejos incrementa la dificultad al tener dos medidores angulares.

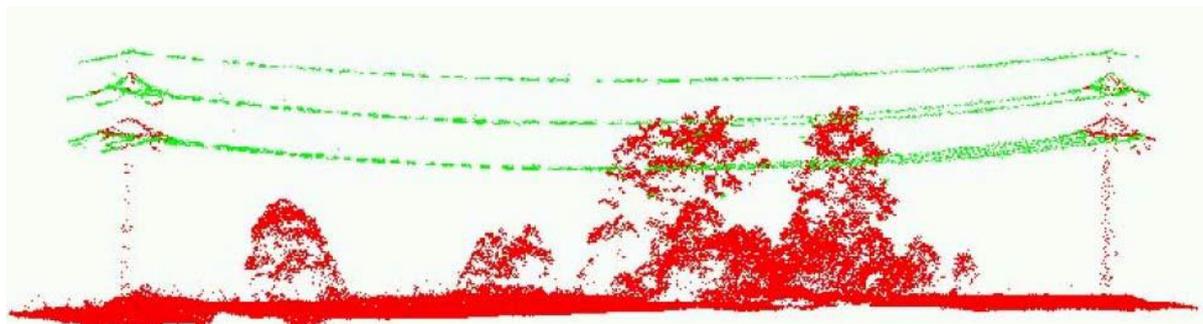


Figura 6.7: Escaneado LIDAR de la vegetación próxima a líneas eléctricas.

6.3.2. Pasos para la adquisición de datos LiDAR

Estos son los pasos seguidos en el proceso de adquisición de los datos LiDAR:

- **Planeamiento de vuelo:** las claves son la precisión y el área de cobertura. Para ello hay que determinar la altura de vuelo, la velocidad del avión, el porcentaje de solape, las pasadas adicionales para asegurar la precisión y el ancho de cada pasada. La densidad de puntos (puntos por metro cuadrado) es fundamental, ya que depende del sensor y está relacionada con la precisión de los modelos. Por otra parte, hay que tener en cuenta los siguientes contratiempos que pueden ocasionar problemas en la ejecución del vuelo: cobertura nubosa, cuestiones de seguridad, condiciones del mar en zonas de costa, hora del día, condiciones climáticas.

- Ejecución del vuelo: conlleva la movilización de los recursos materiales (sensor y avión) y humanos (piloto, operador y personal de campo). En función de las necesidades, se pueden apoyar en trabajo de campo y estaciones GPS fijas para asegurar la precisión (GPS diferencial).
- Instalación de instrumentos y calibración de sistemas: es necesario comprobar la precisión y el buen funcionamiento del sensor LiDAR, así como su funcionamiento en vuelo.
- Misión de vuelo: cada pasada del avión se considera una misión, que conlleva el ajuste de los sensores LiDAR y AGPS.
- Verificación de campo: para comprobar la precisión, es recomendable capturar datos de campo sobre una o varias pasadas del avión mediante GPS; esto permite contrastar los resultados.
- Post-proceso: con la información del GPS diferencial y los datos inerciales del avión.

6.3.2.1. Pre-procesado, filtrado y clasificación de los datos brutos

El proceso de captura consiste básicamente en la sincronización (en formato binario) de los datos con la información de navegación (x, y, z). Por esta razón es necesario procesar los datos que permitan generar productos de gran precisión.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Procesamiento de los datos GPS/INS, asegurando la cobertura completa, sin huecos, y la calidad de los datos.
- Eliminación de solapes: para evitar la duplicación de información y conseguir una densidad de puntos por metro cuadrado más homogénea.
- Depuración de la nube de puntos, clasificación y filtrado de las respuestas láser. En este punto se extrae la vegetación y todos los objetos sobre la superficie. Una vez extraídos, se calcula la altura de los puntos que quedan en esas zonas vacías mediante interpolación.

6.3.2.2. Generación de modelos digitales

Una vez que se ha obtenido una nube de puntos clasificada, se pueden generar productos derivados tales como los MDT's. Se puede mejorar la precisión de estos modelos incluyendo líneas de ruptura, al igual que en los procesos de fotogrametría. La detección de estas líneas de ruptura supone un reto importante para la generación automática de cartografía y es un interesante campo de investigación para la realización de cartografía en zonas urbanas.

Las líneas de ruptura son entidades lineales con valores de elevación asociados a cada vértice. Estas líneas delimitan cambios fuertes de pendiente en el terreno: cauces, vías de comunicación, infraestructuras lineales...El uso de estas líneas de ruptura es un valor añadido para asegurar la calidad de los datos

Con el pos procesamiento se pueden obtener los siguientes datos:

- Extracción de cota suelo
- Extracción de edificios

- Extracción de árboles y masas forestales
- Herramientas de depuración del terreno
- Creación de vectores tridimensionales
- Herramienta de cuadratura de edificios
- Herramienta de edición.
- Recorte de imágenes

El uso de LiDAR requiere conocer los requerimientos del proyecto en los que se desea usar. Una de las primeras decisiones a tomar es el tipo de técnica para la captura de los datos (aérea, terrestre, etc.). Pero también se deben tener en cuenta las estaciones del año, en función de la aplicación (por ejemplo, por la presencia o ausencia de hojas en los árboles caducos), entre otros factores.

6.3.2.3. Términos básicos para entender el LiDAR

Los términos más utilizados en la tecnología LiDAR son los siguientes:

- **Pulso de repetición:** es el ritmo al que el láser emite pulsos, y se mide en Kilohercios (KHz). Por ejemplo, un pulso de 200 KHz de un determinado sensor significa que el LiDAR emite pulsos 200.000 veces por segundo (y por tanto el receptor también recibe posteriormente esa información).
- **Frecuencia de escaneo:** Mientras que el láser emite los pulsos de repetición, el escáner oscila (se mueve hacia delante y hacia atrás). El sistema móvil tienen un escáner que gira 360° continuamente, mientras que los sistemas aéreos se mueven adelante y atrás.
- **Ángulo de escaneo:** se mide en grados, y es el ángulo al que el escáner se mueve desde un extremo hasta el otro. Este ángulo se puede ajustar en función de la aplicación que se le quiera dar.
- **Altitud de vuelo.** El concepto se explica por sí mismo. Hay que considerar que a mayor altura, bajo las mismas condiciones, menor precisión en los datos y menor densidad de puntos.
- **Espaciamiento de la línea de vuelo.** También se determina en función de la aplicación, y de las características del terreno sobrevolado.
- **Espaciamiento nominal entre puntos.** Es la distancia entre los puntos de impacto del LiDAR: a mayor número de puntos, mayor definición de las superficies.
- **Banda:** es la distancia del área de cubrimiento del sistema LiDAR, y depende del ángulo y de la altura de vuelo. En el caso de sensores móviles en tierra, no se habla de banda sino de área de cubrimiento.
- **Solape:** la suma de áreas redundantes que es cubierta entre líneas de vuelo o bandas, dentro del ámbito de estudio. En esas zonas hay más cantidad de puntos.

6.3.2.4. El LIDAR y la vegetación

El LiDAR por sí solo no atraviesa la vegetación, si no que parte de los puntos “se cuelan” a través del ramaje, llegando hasta los estratos inferiores y produciendo así el retorno. Por eso, cuanto más separación entre puntos haya, menos retorno existirá en la vegetación interior. En caso de formaciones forestales caducas, si se desea obtener la superficie, se deberá hacer el vuelo cuando las hojas no estén sobre el árbol. En el caso de formaciones perennes, para conseguirlo se deberá optar por aumentar la concentración de puntos. Como recomendación, se suele apuntar a una densidad de 8 a 10 puntos por metro cuadrado para obtener información detallada sobre la vegetación. Además, cabría tener en cuenta la orografía, pues las fuertes pendientes obligan a tomar densidades de puntos mayores.

Tipos de técnicas de capturas de datos

Los tipos de técnica para capturar los datos LiDAR son:

- **LiDAR aéreo.** Normalmente utilizado para grandes áreas. El sensor se coloca en un avión, que normalmente vuela a una altura entre 400 y 2.500 m sobre la superficie. La precisión suele estar en este caso entre 9,25 cm y 18,5 cm verticalmente, y entre 20 cm y 1 m horizontalmente.
- **LiDAR aéreo de baja altitud.** Se utiliza normalmente para estudios de vías de comunicación e infraestructuras lineales (por ejemplo, **líneas eléctricas**). La altitud de vuelo es mucho menor (de 50 m a 800 m sobre la superficie), y normalmente el sensor va montado sobre helicópteros. De esta forma se consiguen densidades que oscilan entre los 20 y los 100 puntos por metro cuadrado, con precisiones también mayores.
- **LiDAR móvil.** El sistema está montado en la parte trasera de un vehículo, de tal forma que el láser rota 360 ° continuamente durante la operación, mientras que el vehículo avanza. La precisión en este caso es la mayor en relación con el resto de técnicas. La distancia máxima de alcance suele ser de unos 200 m desde el sensor, y la densidad de puntos por metro cuadrado puede llegar a los 4.000.
- **LiDAR terrestre.** En este caso, el sistema no se mueve (no se encuentra montado sobre ningún dispositivo móvil, sino sobre un trípode), y se utiliza para estudiar un área concreta de interés (por ejemplo un puente). La precisión es muy alta, pero la cantidad de datos a recoger está limitado puesto que se trata de sistemas estacionarios.

Gestión de los datos LiDAR

Disponer de los datos es el primer paso para poder sacarles provecho. Para la gestión de dichos datos, el primer paso consiste en extraer los datos en bruto del sistema. Este proceso normalmente se llama *pre-procesado*, y consiste en validar los datos obtenidos en función de los resultados de la posición del GPS de abordo, y otros parámetros. Una vez realizado esto, se obtienen como *output* los archivos en formato LAS, que son el estándar para la mayoría

de los sistemas LiDAR. Si el vuelo se contrata a una empresa, lo más habitual es que la misma ya ofrezca directamente los archivos LAS.

Las operaciones a realizar sobre los archivos LAS son las que se incluyen en el llamado *post-procesado*, y están dirigidas a convertirlas en formatos utilizables en ingeniería y en Sistemas de Información Geográfica. Si bien el procedimiento varía en función de las aplicaciones, su denominación es común (extracción de datos), y consiste en atribuir algunos valores a los puntos (asignar una clasificación). Para ello, en aquellos sistemas que también toman fotos durante la recogida de datos, suele ser de mucha utilidad consultarlas en esta fase. La clasificación incluye categorías como base del terreno, vegetación, edificios y otros elementos. A partir de esta clasificación, se facilita mucho el trabajo con los Sistemas de Información Geográfica, para obtener de esta forma productos avanzados como modelos digitales de superficies, modelos digitales del terreno, alturas de la vegetación, características del matorral, morfología de la red de drenaje, etc.

6.3.3. LIDAR comerciales

Algunos suministradores como RieGl (Alemania) y Velodyne (EE.UU), fabrican lidar para montaje en vehículos aéreos (tripulados o no). Para el caso de un UAS, es interesante el peso por la capacidad de la carga de pago que tenga el vehículo en cuestión destinado a una misión específica. Por ejemplo, el modelo HDL-32E de Velodyne es ideal por su bajo peso (1,3kg) a la hora de incorporarlos a UAVs de pequeño tamaño cuyas cargas de pago no llegan a los 3kg en su mayoría. Su precio ronda los 42000\$ (unos 31000€) y su mayor inconveniente es que Velodyne no tiene suministradores en España. Esto hace que una avería en el equipo conlleve el problema de envíos para su reparación a un país a muchos km de distancia.

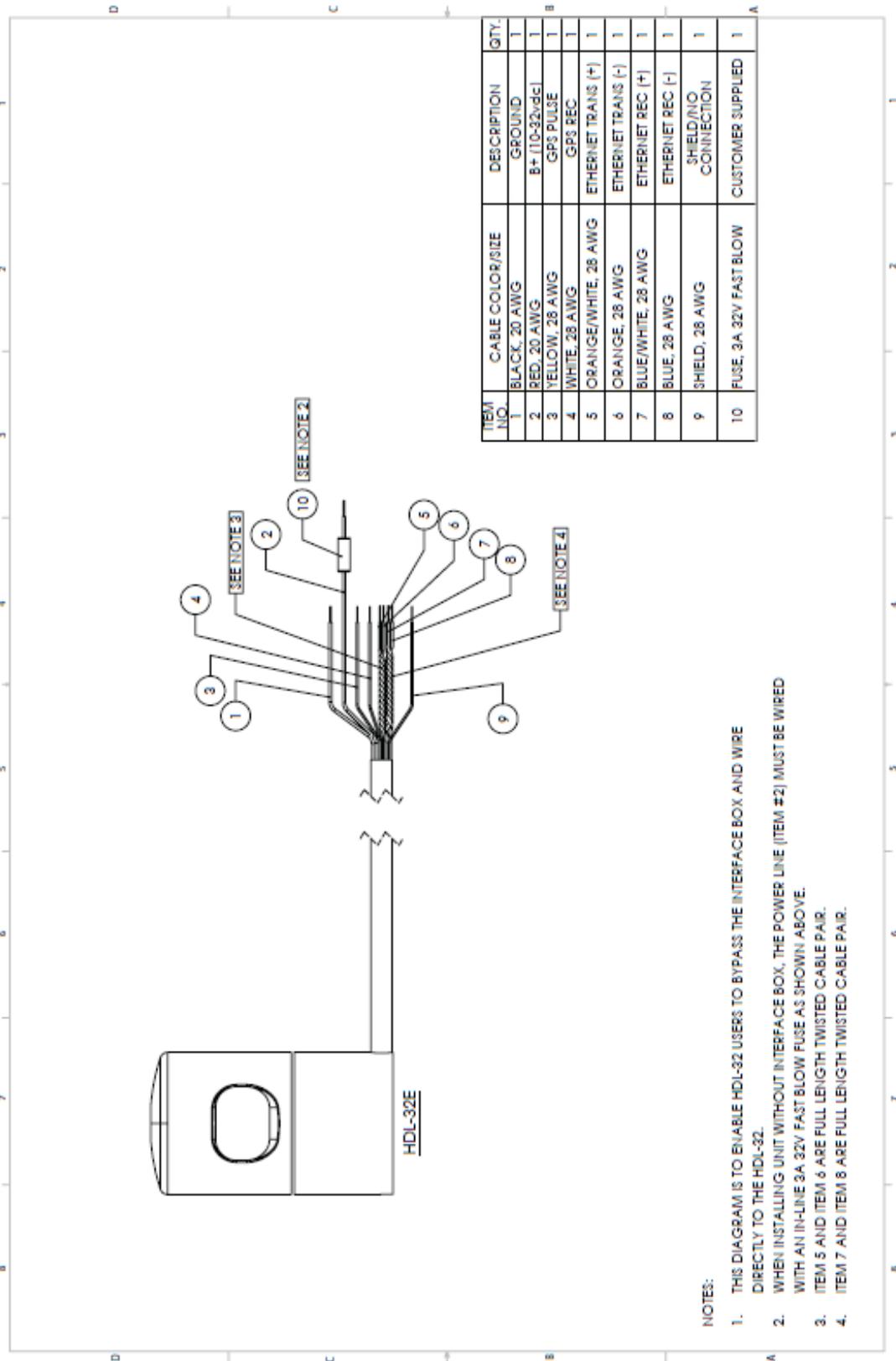


Figura 6.8: Kit de conexiones del LIDAR HDL-32E de Velodyne.



HDL-32E WIRING DIAGRAM

www.velodyne.com



ITEM NO.	CABLE COLOR/SIZE	DESCRIPTION	QTY.
1	BLACK, 20 AWG	GROUND	1
2	RED, 20 AWG	B* (10-32Vdc)	1
3	YELLOW, 28 AWG	GPS PULSE	1
4	WHITE, 28 AWG	GPS REC	1
5	ORANGE/WHITE, 28 AWG	ETHERNET TRANS (+)	1
6	ORANGE, 28 AWG	ETHERNET TRANS (-)	1
7	BLUE/WHITE, 28 AWG	ETHERNET REC (+)	1
8	BLUE, 28 AWG	ETHERNET REC (-)	1
9	SHIELD, 28 AWG	SHIELD/NO CONNECTION	1
10	FUSE, 3A 32V FAST BLOW	CUSTOMER SUPPLIED	1

- NOTES:
1. THIS DIAGRAM IS TO ENABLE HDL-32 USERS TO BYPASS THE INTERFACE BOX AND WIRE DIRECTLY TO THE HDL-32.
 2. WHEN INSTALLING UNIT WITHOUT INTERFACE BOX, THE POWER LINE (ITEM #2) MUST BE WIRED WITH AN IN-LINE 3A 32V FAST BLOW FUSE AS SHOWN ABOVE.
 3. ITEM 5 AND ITEM 6 ARE FULL LENGTH TWISTED CABLE PAIR.
 4. ITEM 7 AND ITEM 8 ARE FULL LENGTH TWISTED CABLE PAIR.

El sensor LIDAR HDL-32E de Velodyne viene empaquetado con los siguientes elementos:

- Sensor de HDL-32E con caja de interfaz.
- Fuente de alimentación AC / DC de 110V de corriente alterna.
- Cable Ethernet (1m).
- Garmin GPS 18x LVC.
- CD con software libre para visión y grabación de datos.

La adquisición de los datos del lidar se realizaría *in situ* en el propio UAV de forma que se necesitaría un pequeño **ordenador** con toma Ethernet (conexión LIDAR – PC) y un **disco duro SSD (Solid State Disk)** pequeño y ligero. De esta forma, se almacenarían la gran cantidad de datos obtenidos del lidar que, según las características del HDL-32, son de unos 700000 puntos por segundo. Cada punto ocupa unos 20 bytes de información (ver Figura 6.8) por lo que como máximo obtendríamos 13,35Mbytes/segundo. Si se utiliza un sistema de almacenamiento para los datos lidar de 250Gbytes tendríamos un tiempo máximo de misión de unos 320 minutos (algo más de 5 horas).

Item	Formato	Tamaño	Requerido
X	long	4 bytes	*
Y	long	4 bytes	*
Z	long	4 bytes	*
Intensidad	unsigned short	2 bytes	*
Número de Retorno	3 bits (bits 0, 1, 2)	3 bits	*
Número de Retornos Totales (dado un pulso)	3 bits (bits 3, 4, 5)	3 bits	*
Flag Dirección de Escaneo	1 bit (bit 6)	1 bit	*
Lado de la línea de vuelo	1 bit (bit 7)	1 bit	*
(1.1) Clasificación	unsigned char	1 byte	*
(1.1) Ángulo del Escaneo (De -90 a +90) - Lado izquierdo	char	1 byte	*
(1.1) Datos de Usuario	unsigned char	1 byte	*
(1.1) ID Fuente del Punto	unsigned short	2 bytes	*

Figura 6.9: Datos de un punto LIDAR.

CARACTERISTICAS HDL-32 DE VELODYNE

Specifications	
Laser:	<ul style="list-style-type: none"> • Class 1 - eye safe • 905 nm wavelength • Time of flight distance measurement with intensity • Measurement range 1m to typically 80-100m
Sensor:	<ul style="list-style-type: none"> • 32 laser/detector pairs • +10.67 to -30.67 degrees field of view (vertical) • 360° field of view (horizontal) • 10 Hz frame rate (user selectable) • Operating temperature -10° to +60° C • Storage temperature -40° to 105° C • Accuracy: <2 cm (one sigma at 25 m) • Angular resolution (vertical) 1.33° • Integrated web server for easy configuration
Mechanical:	<ul style="list-style-type: none"> • Power: 12 W (1Amp @12 VDC) • Operating voltage: 9-32 VDC • Weight: <2 kg • Dimensions: 5.9" height x 3.4" diameter • Shock: 500 m/sec² amplitude, 11 msec duration • Vibration: 5 Hz to 2000 Hz, 3G rms • Environmental Protection: IP67
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • Up to 700,000 points/second • 100 Mbps Ethernet connection • UDP packets containing <ul style="list-style-type: none"> - distances - calibrated reflectivities - rotation angles • Orientation - internal MEMS accelerometers and gyros for six-axis motion correction • GPS time-synchronized with included GPS Receiver

DISCO DURO SSD

Verbatim tiene entre sus productos un SSD de 250GB y conexión USB a un precio de 231€ el cual se puede adquirir perfectamente en España. Con conectividad USB 3.0, las unidades SSD externas de Verbatim manejan grandes transferencias de datos con rapidez (4,8Gbits/seg). Resulta perfecto para la edición de vídeo y el intercambio de grandes cantidades de datos. Funciona de forma silenciosa y con un bajo consumo energético para sacar el máximo partido a la duración de la batería.

Especificaciones:

- Alimentación: alimentada a través del bus mediante cable USB 3.0
- Interfaz: Puerto USB 3.0 o USB 2.0*
- Dimensiones del producto: 90 x 43 x 9mm (largo x ancho x alto)
- Peso del producto: 42 gramos.

Requisitos del sistema:

- Windows 7/XP/Vista
- Mac OS X 10.4 o superior
- Linux 2.4.0 o superior
- Puerto USB 3.0/USB 2.0*

*Nota: para conseguir un rendimiento óptimo la unidad debe estar conectada a un puerto host USB 3.0.



Figura 6.10: Disco SSD de Verbatim

PC EMBEBIDO ULTRA COMPACTO

En www.industrialcomputers.com, podemos encontrar un PC embebido ultra compacto sin ventilador, ideal para su utilización en espacios reducidos.



Figura 6.11: PC embebido ultra compacto de Industrialcomputers.

Características

- Bajo consumo de potencia y diseño sin necesidad de ventilador.
- Soporta opciones de almacenamiento SATA, SSD, SD y CF.
- Ranura interna triple mini-PCIE con soporte de 3G/4G HSPDA/GSM/FPGA.
- El PC ultra compacto sin ventilador incluye ranura dual SIM para conectividad redundante. Puerto Dual Gigabit Ethernet y soporta WIFI. VGA soporta hasta 1920×1080@50Hz.
- El PC ultra compacto sin ventilador soporta decodificación total video hardware HD.
- Montura VESA lista para fácil instalación (100mm×100mm).
- 12V DC, menos de 100W en consumo de potencia.

6.4. Cámaras EO/IR

Los sensores EO son un caso especial de los IR que necesitan luz para detectar objetos. Las principales diferencias con los IR son:

- Las imágenes de los sensores EO presentan diferencias entre las imágenes capturadas de día y de noche.
- Necesitan luz para operar.

Existen algunas aplicaciones en las que se utilizan conjuntamente con otros equipos, como por ejemplo radar.

Otra aproximación utilizada con sensores EO consiste en determinar la presencia de objetos utilizando medios ópticos y realizar maniobras preestablecidas que permitan mediante triangulación obtener la distancia del objetivo.

Existen varios proveedores que suministran soluciones interesantes para la aplicación de un sistema DSA (*Desarrollo de Sistemas Avanzados*) en UAVs. Para ello, el criterio principal es que el volumen y el peso de los equipos sean lo más reducidos posibles. Y todo esto acompañado de una funcionalidad suficiente para cumplir con los requerimientos de la certificación.

6.5. Cámaras termográficas

Todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación de cuerpo negro (en forma infrarroja) en función de su temperatura. Generalmente, los objetos con mayor temperatura emiten más radiación infrarroja que los que poseen menor temperatura. Con las cámaras termográficas, las imágenes se visualizan en una pantalla. Estas tienden a ser monocromáticas, porque se

utiliza un sólo tipo de sensor que percibe una particular longitud de onda infrarroja. Muestran las áreas más calientes de un cuerpo en blanco y las de menor temperatura en negro, con matices grises los grados de temperatura intermedios entre los límites térmicos.

Sin embargo, existen otras cámaras infrarrojas que se usan exclusivamente para medir temperaturas y procesan las imágenes para que se muestren coloreadas, porque son más fáciles de interpretar con la vista. Pero esos colores no corresponden a la radiación infrarroja percibida, sino que la cámara los asigna arbitrariamente de acuerdo al rango de intensidad de longitud de onda infrarroja, por eso se llaman falsos colores o pseudo-colores. Esos falsos colores tienen entre varias aplicaciones las cartográficas, pues describen las diferentes alturas del relieve de un mapa: De color azul las partes más frías que comúnmente son las más altas y de color rojo las más calientes que son las más bajas, las partes intermedias en altura, y por tanto en temperatura, en otros colores como el amarillo y el anaranjado.

Otras aplicaciones generales de las cámaras infrarrojas son: Ver en las tinieblas, a través del humo o debajo del suelo.

6.5.1. Cámaras termográficas comerciales

La compra de una cámara termográfica es una inversión a largo plazo. Por lo tanto, no solo se debe seleccionar la cámara termográfica que mejor se ajuste a nuestras necesidades, sino también un proveedor de confianza que ofrezca sus servicios durante un prolongado periodo de tiempo.

Una marca bien consolidada le debe ofrecer lo siguiente:

- **Hardware**

Cada usuario tiene necesidades distintas. Por eso, es muy importante que el fabricante pueda ofrecer una gama completa de cámaras termográficas, desde modelos básicos económicos a modelos avanzados de alta gama, para que pueda elegir el que mejor se ajusta a nuestras necesidades.

- **Software**

Independientemente del uso que se le dé a las cámaras termográficas, se necesitara software para analizar las termografías y crear informes sobre las. Por lo tanto se deberá elegir una cámara termográfica que se pueda combinar con el software adecuado para su aplicación.

- **Accesorios**

Cuando se empieza a usar una cámara termográfica, es posible que cambien sus necesidades a medida que se descubren las ventajas de su uso. Es necesario asegurarse de que el sistema puede adaptarse a nuestras necesidades. El fabricante debe poder ofrecer distintos tipos de lentes, pantallas, etc.

- **Mantenimiento**

Las cámaras termográficas también se deben volver a calibrar cada cierto tiempo. En ambos casos, en lugar de tener que enviar la cámara al otro extremo del mundo, es

preferible contar con un centro de reparación en su zona para volver a disponer de la cámara en el menor tiempo posible.

• Formación

El mundo de la termografía no se limita únicamente a saber cómo se maneja la cámara. Es interesante seleccionar un proveedor que pueda ofrecer una buena formación y asistencia para aplicaciones cuando se necesite.



Las cámaras térmicas Tau de FLIR proporcionadas por el suministrador *Grupo Acre*, es un infrarrojo de onda larga (LWIR) que incluye varios modelos:

- Tau 640 es una VGA de 640x512, formato de cámara térmica con un tamaño de píxel de 17 micras
- Tau 320 es una QVGA de 324x256, formato de cámara térmica con un tamaño de píxel de 25 micras
- Tau 160 es una cámara de formato 160x120 térmico con un tamaño de píxel de 25 micras



Figura 6.12: Núcleo de cámara térmica TAU 640 de Flir para embarcar en un UAV.

Tau cuenta con salida de vídeo NTSC a 30 fotogramas por segundo (fps) como un estándar, o un vídeo PAL a 25 fps. La opción "video lento" está disponible para cada modelo que exime a la cámara de los requisitos de licencias de exportación. La tasa de vídeo lenta es de 7,5 fps para NTSC y 8.3 fps para PAL. Muchos controles comunes de la cámara son llevados a cabo en el Tau Camera Control GUI (interfaz gráfica de usuario)

Varias opciones de lentes están disponibles para todos los modelos de Tau. Las lentes de versiones básicas de la cámara 320 y 640, también están disponibles además de una variedad de accesorios opcionales que proporcionan conectividad adicional.

Este producto está diseñado para su uso por incorporación *solamente* a otro producto y no es considerada por FLIR un producto final acabado apto para el uso general de los consumidores. Por lo tanto, sería necesario conectar un sistema de grabación o transmisor de vídeo para grabar la misión en el propio UAV o en la estación de tierra.

Algunas de las características principales de las cámaras Tau se enumeran a continuación:

- Campo seleccionable entre NTSC y PAL (formatos de vídeo).
- CMOS y BT.656 opciones de vídeo digital, así como LVDS (*Low Voltage Differential Signaling*) de 14 bits.
- Cámara de alimentación y comunicación de alta velocidad serie de la cámara (hasta 921.600 baudios) a través de la serie Tau VPC (*Virtual Port Chanel*) a USB.
- Avanzada interfaz, fácil de usar para el control de la cámara y la configuración
- Captura y almacenamiento de imagen.
- EMI la supresión de la clase B con cubierta trasera instalada, y la Clase A sin la cubierta trasera.
- Tolerancia a golpes hasta 200 g.
- Funciones de control de la cámara para los fabricantes de equipos.
- Múltiples opciones de lentes disponibles en los campos de mira anchos y estrechos.
- Amplio campo de visión mediante lentes.

Una de las cámaras comerciales más usadas en inspección termográfica de placas solares es la T640 de Flir. A diferencia de la TAU 640, esta cámara posee transmisión (streaming)/grabación de vídeo, transmisión de video IR no radiométrico y WiFi. Su precio ronda los 26000€.



Figura 6.13: Cámara térmica de la serie T de Flir T640.

A modo de resumen:

Tipo Sensor	Aplicación
Cámaras digitales de alta resolución	Orto-fotografías / Modelos Digitales del Terreno (3D)
Cámaras de video	Filmación de eventos / Publicidad
Sensores Infrarrojos	Termografías / Detección y control de incendios
Sensores Multiespectrales	Obtención de datos biofísicos de sistemas vegetales
Sensores Atmosféricos	Análisis de la contaminación de la atmósfera. Datos climáticos

Tabla 6.1: Resumen de sensores vs aplicación.

7. Equipos electrónicos de control y comunicaciones

Básicamente existen dos premisas importantes para el **sistema de control**. Por un lado el sistema de control ha de ser autónomo y fiable. En el *segmento aire* se tienen las funciones relacionadas con la adquisición de información asociada a la misión, así como los sistemas para conocer posición y altitud, y control de la velocidad (Guidance and control system design for chase UAV). Por otro lado, funciones de planificación de ruta, así como control de vuelo del vehículo irán embarcados o se situarán en el *segmento tierra* en función del grado de autonomía del vehículo. La toma de decisiones a bordo del UAS forma parte también del apartado del control del sistema (Addressing uncertainty in UAV navigation decision-making). El funcionamiento correcto de la unidad de control va asociada al correcto funcionamiento de equipos como el procesado de control (CPU), instrumentos de control de la estabilidad (IMU) y la alimentación eléctrica.

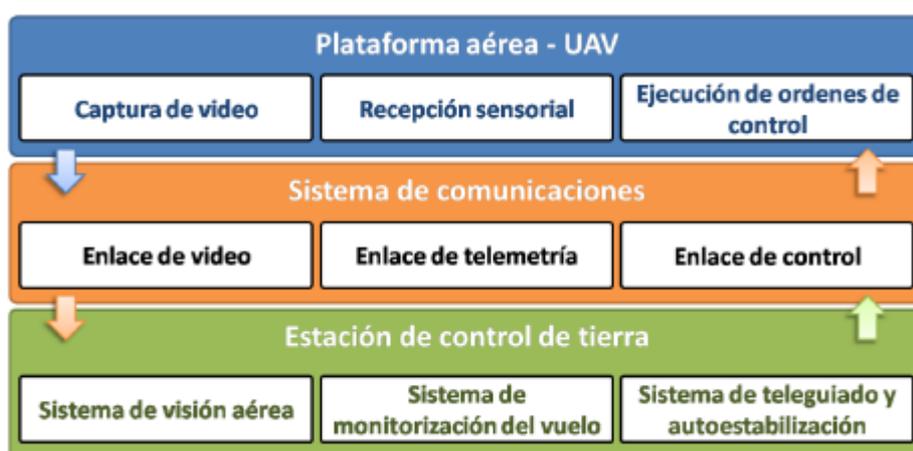


Figura 7.1: Plataforma de un UAS.

A continuación mostraremos diferentes equipos comerciales de control y comunicaciones. Se han seleccionado dos suministradores por las siguientes ventajas:

- Poseen sistemas completos (kits) cuya interconexión está asegurada al ser del mismo fabricante.
- Los suministradores seleccionados son españoles, por lo que el suministro de material y soporte técnico son más asequibles.

7.1. Control remoto y estación base de comunicaciones comerciales (control de tierra)

Como se comentó en el apartado anterior, se seleccionaron dos suministradores españoles para el suministro de los equipos. Estos son *Grupo Acre* (www.grupoacre.com) y *Airelectronics* (www.airelectronics.es).

7.1.1. ESTACION BASE MAVinci (Grupo Acre)

La estación base comprende las siguientes partes

- Software de planificación.
- Estación base (receptor/transmisor de telemetría)
- Control remoto



Figura 7.2: Estación de RC Futaba 1024Z.

Conexiones inalámbricas de comunicaciones

- Punto de acceso WLAN (opcionalmente con soporte de 3G)
- Enlaces de corto y largo alcance de hasta 40 km LOS (Line Of Sight).
- Conexión WLAN entre ordenador y Cockpit.

Otras características

- Gestiona la conexión entre los vehículos aéreos no tripulados, escritorio y Cockpit.
- UAV Simulación: Aprenda a utilizar el UAV volando sin un UAV real.
- Software Desktop, puede conectarse a la Estación Base de forma simultánea.
- Receptor GPS (La posición de la estación de tierra es visible en el Software Desktop)
- Sensor de presión de Aire.
- Utiliza las mismas baterías que el UAV.

7.1.2. Sistema de Vídeo en Tiempo Real (Video Link MAVinci-Grupo Acre)

Transmite la imagen en directo desde la perspectiva del helicóptero directamente en la pantalla de la estación de tierra. Esto le da un control directo sobre las fotografías aéreas durante el vuelo y puede reaccionar inmediatamente y ajustar la configuración de la cámara. La transmisión de las señales de vídeo son analógicos. La visualización en vivo de la cámara se muestra en tiempo real sin demora perceptible.

El sistema se compone de:

- Monitor de 7"
- Vídeo 1x IN (compuesto). Salida de vídeo 2x (Monitor, Gafas de video, proyector, Grabador)
- Receptor 5.8GHz equipado con conectores SMA que permiten la conexión con antenas especializadas.
- Pantalla LCD para la selección de canal y estado de la batería.
- Trípode de aluminio



Figura 7.3: Video link MAVinci.

7.1.3. Conector Wireless MAVinci (Grupo Acre)

- WLAN punto de acceso.
- Comunicación dual Long Range y Short Range links con el UAV hasta 40 km de la línea de visión LOS.
- Conexiones WLAN entre MAVinci Desktop (software flight planning) y piloto automático MAVinci (Cockpit).

Otras características

- Gestión de la conexión entre el UAV, MAVinci Desktop y piloto automático MAVinci.
- Simulación UAV: Aprenda cómo se maneja el UAV sin necesidad de vuelo real.
- Múltiple MAVinci Desktops pueden conectarse a la estación de tierra simultáneamente.
- A través del receptor GPS se puede ver la posición de la estación de tierra en el MAVinci Desktop.
- Sensor de presión de aire para la puesta a cero de la altitud de referencia.
- Utiliza el mismo pack de baterías que el UAV.



Figura 7.4: Conector wireless MAVinci.

En la siguiente figura podemos observar el esquema de funcionamiento entre el cockpit, software desktop, estación de RC y el conector de MAVinci:



Figura 7.5: Esquema funcional del sistema MAVinci.

7.1.4. U-STATION (Airelectronics)

La estación U-Station integra en un solo elemento la tecnología necesaria para proporcionar unos enlaces de vídeo y datos altamente estables. La batería integrada y la pantalla de indicación de voltaje hacen de U-Station un dispositivo independiente y fácil de desplegar.

La estación cuenta con un único USB de salida que conectado al ordenador, sirviendo tanto enlace de video como telemetría y comandos, y solo necesita un segundo cable para la conexión del controlador Futaba 1024Z. El diseño en una única caja permite tanto su rápido despliegue como un fácil apuntamiento manual de su antena de vídeo direccional.

U-Station mantiene todas las características del U-Ground clásico, como sobre-comando manual, independencia del ordenador y un bajo consumo de potencia.

7.1.5. U-GROUND (Airelectronics)

El hardware de tierra U-Ground actúa de enlace entre el hardware embarcado y el ordenador desde el que se controla el sistema UAV. Este sistema cuenta con GPS integrado y salidas PWM estándar para permitir el apuntado de antenas direccionales para mantener una conexión estable de video.

U-Ground también permite el modo manual mediante una emisora Futaba con PCM 1024 y puerto entrenador. De esta manera, el operador puede controlar el vehículo en modo manual a través la conocida interfaz de la emisora futaba, manteniendo toda su funcionalidad (configuración exponencial en control, mezclas, etc.).

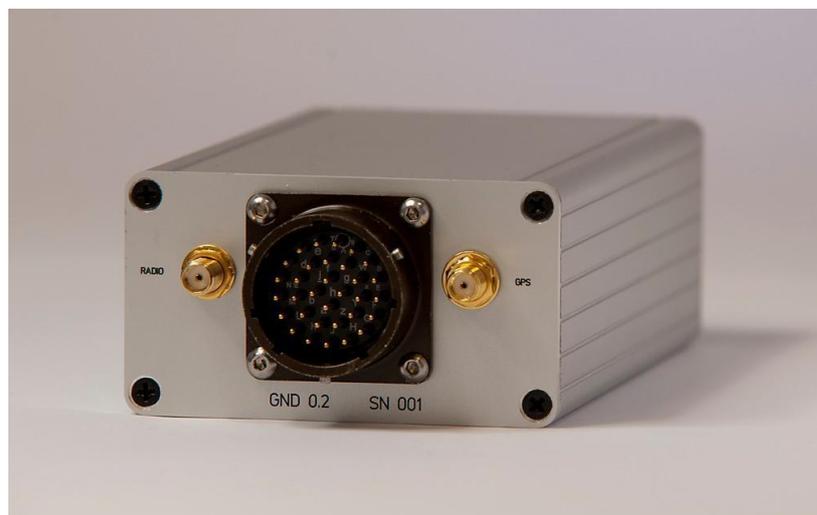


Figura 7.6: Sistema de tierra U-GROUND de Airlectronics.

En las siguientes figuras podemos observar el esquema de funcionamiento de los sistemas de Airlectrónica con U-GROUND y U-STATION respectivamente:

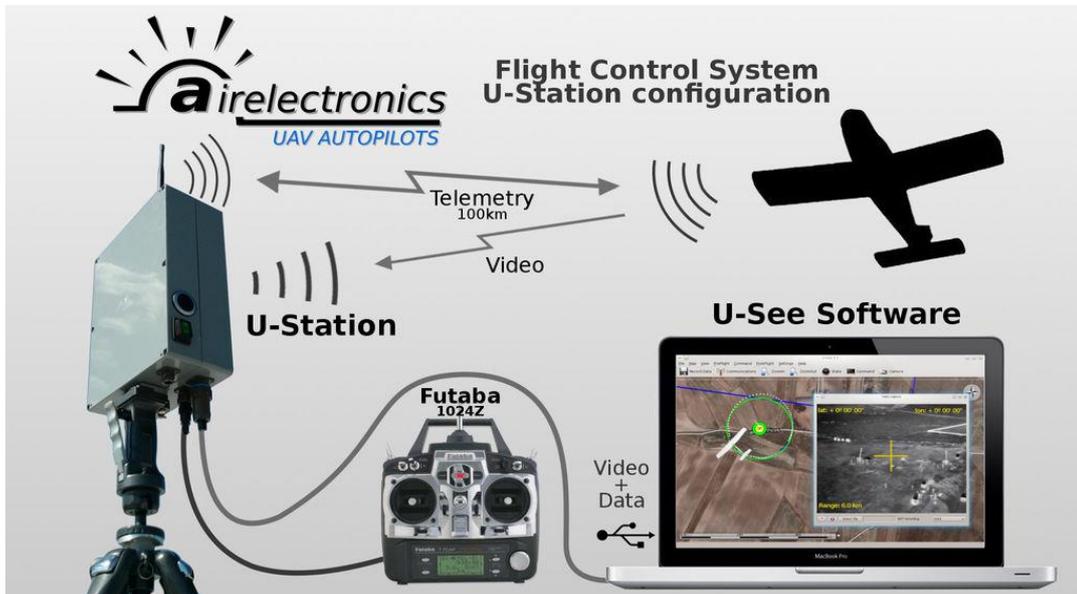


Figura 7.7: Esquema funcional del sistema Airelectronics con U-STATION.

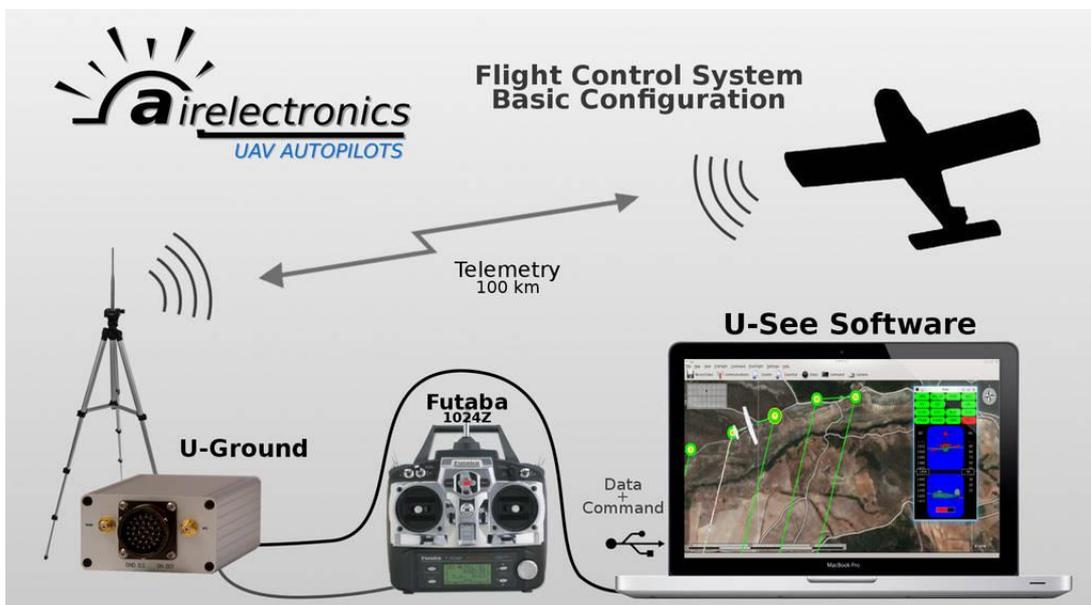


Figura 7.8: Esquema funcional del sistema Airelectronics con U-GROUND.

7.2. Hardware embarcado

En este apartado veremos algunos de los pilotos automáticos que nos ofrecen los suministradores seleccionados en el capítulo 4. Estos dispositivos, además de gobernar la aeronave, pueden controlar la carga de pago.

7.2.1. Piloto Automático MAVinci (Grupo Acre)

Permite que el Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV) vuele de manera autónoma. El UAV es controlado de forma automática durante el lanzamiento, vuelo y aterrizaje.

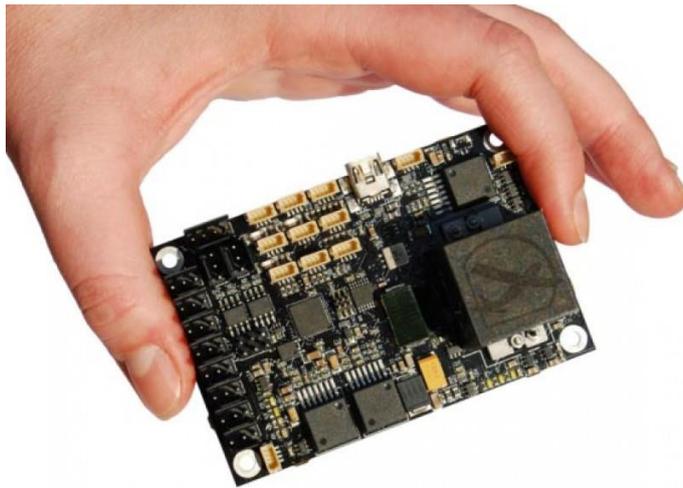


Figura 7.9: Piloto automático MAVinci (cockpit).

El modo de vuelo asistido estabiliza el UAV, de forma que para esta función se sustituye al piloto por el piloto automático. El piloto mantiene la altitud de vuelo de forma automática y el UAV permanece en un rango marcado por el piloto. Es tan sencillo que incluso pilotos totalmente inexpertos son capaces de dirigir y aterrizar el avión.

El piloto automático MAVinci determina el movimiento a través de una Unidad de Medida Inercial (IMU). Esta combinación de varios sensores de inercia permite la detección de giros, aceleraciones y descensos en el espacio tridimensional.

Características

- Fácil planificación de vuelos con capacidades avanzadas.
- Es posible Editar y crear nuevos planes de vuelo virtuales en tiempo real
- Tres modos de funcionamiento: completamente automático, modo asistido y manual
- Control simple arriba/abajo izquierda/derecha en modo asistido
- IMU 9 GDL integrada

Características del hardware

- IMU 9 GDL integrada.

- Con todas las funciones habilitadas, requiere alrededor de 4 vatios de potencia
- Receptor GPS 4 Hz
- Fuente de alimentación 8-30V

Enlaces inalámbricos

- Enlace de corto y largo alcance de hasta 40 km
- Conexión adicional de 2,4 GHz para el control manual de seguridad

Seguridad

- Control de temperatura de todos los componentes para detectar fallos.
- Sistema de copia de seguridad, éste es independiente del piloto automático
- Protección de sobrecarga y cortocircuito: el fallo de un subsistema (por ejemplo un servo) no produce un fallo del sistema completo. Opción de utilización de GPS doble.
- La Unidad Inercial funciona incluso sin GPS
- Todos los fallos se reportarán al operador mediante telemetría en la estación de tierra

Dimensiones

- Longitud: 84 mm
- Ancho: 55 mm
- Altura: 40 mm
- Peso: piloto automático 66 g (incluyendo la fuente de alimentación)
- Receptor RC y módulo GPS (20 g)

7.2.2. U-PILOT (Airelectrónics)

Este hardware embarcado puede controlar tanto aeronaves de ala fija como rotatoria durante toda la misión: desde el despegue hasta el aterrizaje se realiza de forma automática, y siempre teniendo la opción de pilotar manualmente.

Tanto la avanzada tecnología usada como la filosofía de doble CPU permiten a U-Pilot actualizar la estimación de actitud y cerrar el bucle de control a alta velocidad (1 kHz), haciendo posible controlar las plataformas más inestables y dinámicas mientras en paralelo se manejan múltiples cargas de pago.

El radio-enlace opera en la frecuencia de 900MHz, permitiendo un alcance que sobrepasa los 100 km (Debido a restricciones en la frecuencia de uso, la frecuencia del radio-enlace puede ser de 900MHz, 1.4GHz o 2Ghz). De todas formas, si se sobrepasase dicho alcance, U-Pilot volvería a la base de manera automática.



Figura 7.10: Cockpit U-PILOT de Airelectrónica.

7.2.3. Ardupilot (Arduino)

En este apartado no podía faltar uno de los pilotos automáticos más utilizados; el *Ardupilot*. Se trata de un proyecto *Open Source* disponible para cualquier usuario. Los archivos Eagle de la placa base y la lista de componentes están disponibles para poder fabricárselo uno mismo, aunque actualmente se está comercializando a un precio tan bajo que difícilmente podría ser mejorado con la autoconstrucción (a día de hoy el precio de venta de está en torno a los 60€ con el *Ardupilot Mega* (<http://www.bricogeek.com>)). La empresa *Iberobotics*, ofrece una solución basada en Ardupilot al cual le añaden los sensores, un kit de telemetría y un GPS por un precio de 320€.

Esta pequeña pero potente placa, está diseñada para utilizarse como piloto automático para vehículos radiocontrolados, ya sean aviones, coches o barcos. Dentro del campo de los UAV, básicamente el Ardupilot cuenta con 2 potentes procesadores, Atmega 168 y el Attiny. Con estos 2 procesadores se puede controlar todos los sistemas integrados en el UAV sin demasiadas complicaciones.

Originalmente el Ardupilot solo era capaz de controlar el timón de dirección (para dirigir el avión al punto deseado), y el motor (para ganar o perder altitud). Pero actualmente se está probando una nueva versión de firmware capaz de estabilizar el avión usando 4 canales; timón, motor, profundidad y alabeo, junto con la instalación de sensores infrarrojos del tipo FMA. Anteriormente era necesaria la utilización de un sistema como el Copilot de FMA para que se encargara de la estabilización del avión, dejando solo para el Ardupilot las labores de navegación.

Cualquiera puede leer y configurar y modificar su código ya que este está abierto para todo el mundo.

El funcionamiento del Ardupilot es bastante simple en principio, consta de 2 modos:

- **Modo RTL:** "Return To Launch", conocido comúnmente como vuelta a casa. Este es el modo predefinido por el diseñador; basta con activarlo para que este donde este el avión regrese al punto que se cargó cuando se inició el GPS volando a una altitud pre programada (por defecto 100m).

- **Modo Waypoint:** En este modo, el Ardupilot leerá la lista de waypoints y empezará a seguir el recorrido indicado siguiendo los waypoints introducidos del 1 en adelante. Cuando llegue al último, regresará al waypoint 0 (RTL). Cada waypoint puede ser configurado a una altitud distinta y el Ardupilot intentará cumplir con su cometido. La capacidad para introducir waypoints será el resto de memoria libre que quede en el procesador, por lo que cuanto más amplio sea el código, menos espacio para Waypoints. Actualmente el diseñador calcula que cabrían algo más de 250.

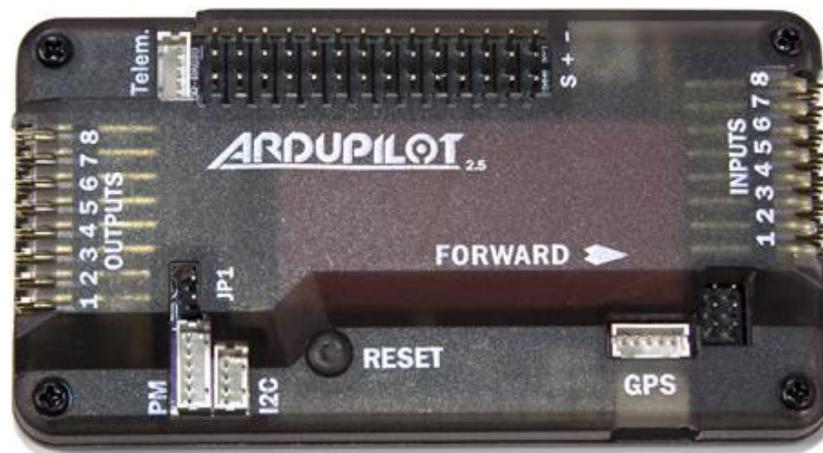


Figura 7.11: Cockpit Ardupilot.

7.3. Software especializado

Existen multitud de programas de diferentes fabricantes dedicados tanto al control y configuración de las misiones de vuelo como al procesamiento de los datos (p.e imágenes, modelado en 3D, etc...). Los suministradores Grupo Acre y Airelectronics también disponen de software especializado para el control de vuelo procesado de imágenes.

7.3.1. MAVinci Desktop Flightplanning (Grupo Acre)

MAVinci Desktop flightplanning es un software fácil de manejar. Permite la planificación y la modificación de una ruta antes o durante el vuelo. Durante la misión es posible controlar el UAV y después del vuelo MAVinci Desktop es clave para varias soluciones de postproceso.

Características:

- Seguimiento y control del vuelo
- Vista en 3D y 2D
- Los puntos de referencia pueden ser editados, mientras que la aeronave esté en vuelo.

- Control de la cámara
- Visualización de la zona cubierta por las imágenes aéreas tomadas.
- Visualización de las imágenes de la zona cubierta
- Compatible con Windows y Linux
- Integración de WMS (Web Map Service) (Se pueden integrar modelos de elevación de alta resolución y ortofotos.)
- Planificación de las misiones fuera de línea
- Repetición de los vuelos

Planificación de vuelo múltiple MAVinci UAS:

La avanzada herramienta de planificación de vuelo múltiple calcula automáticamente varios planes de vuelo para cubrir las áreas que exceden el rango de un vuelo. Después de seleccionar el área de interés y GSD deseado (distancia al suelo de muestreo) de las imágenes aéreas el software automáticamente determina si el área puede ser cubierta en un vuelo. Si es necesario más de un vuelo, el plan de vuelo al instante se divide en dos o más planes de vuelo. La planificación óptima de varios vuelos ahorra tiempo y evita la duplicación innecesaria entre los planes de vuelo individuales. Para post-procesamiento, los datos de varios vuelos pueden unirse de nuevo para procesar toda la zona en un bloque.

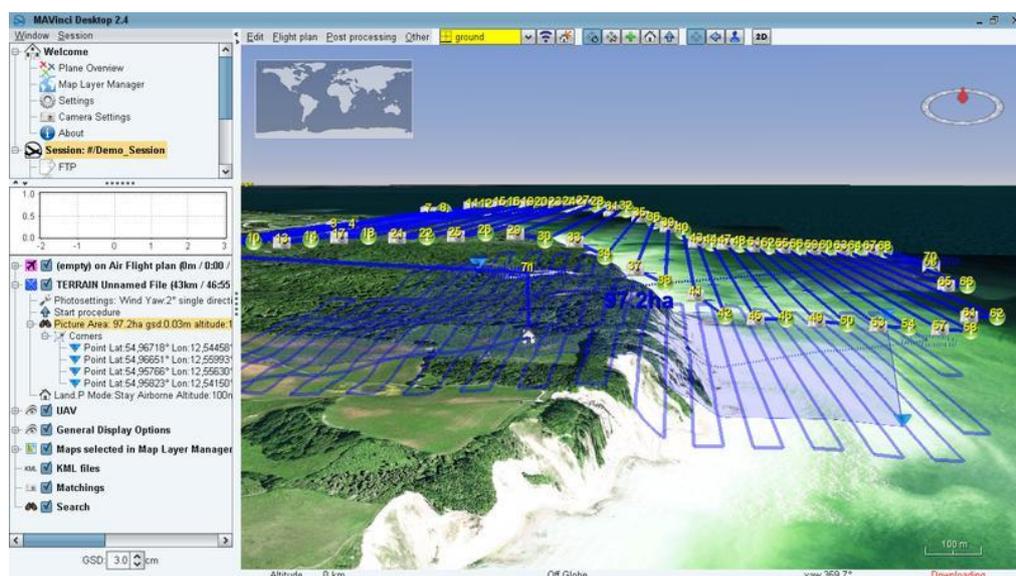


Figura 7.12: Planificación de vuelo mediante MAVinci desktop.

7.3.2. U-SEE Flightplanning (Airelectronics)

El software de control de UAVs U-See está desarrollado independientemente del sistema operativo. De esta manera, se puede decidir si desea usar un portátil con Windows, MacOS X o Linux para controlar el sistema. Airelectronics recomienda el uso de un MacBook Pro 13" con "BootCamp" Windows, aunque de nuevo, depende de la combinación de software y hardware que se decida usar.

El software de tierra ha sido desarrollado con el conocimiento adquirido en el trato con operadores de UAV. Mientras otros sistemas tienen un set de parámetros almacenados en el ordenador y otro set completamente diferente en el hardware embarcado, U-See muestra únicamente la información recibida desde el autopiloto. Esta filosofía reduce el riesgo de omisiones catastróficas (p.e. olvidar subir un "waypoint") y simplifica considerablemente la operación del sistema.

De nuevo, continuando con esta filosofía, todo lo que se muestra sobre el mapa es lo que el UAV pretende hacer en todo momento. Siempre será capaz de ver el rumbo planificado y modificar en cualquier momento el plan de vuelo en tiempo real.

El motor de mapas se conecta a internet y obtiene mapas georeferenciados y los presenta en pantalla. No hay que cargar manualmente los mapas ni preocuparse por su alineación. Si durante la misión localizase algún punto de interés, será capaz de guiar el UAV hasta el punto con un simple click.

Por supuesto, con el fin de facilitar el trabajo del operador, los datos de vuelo grabados pueden ser convertidos a Matlab® o Excel® para un análisis detallado.

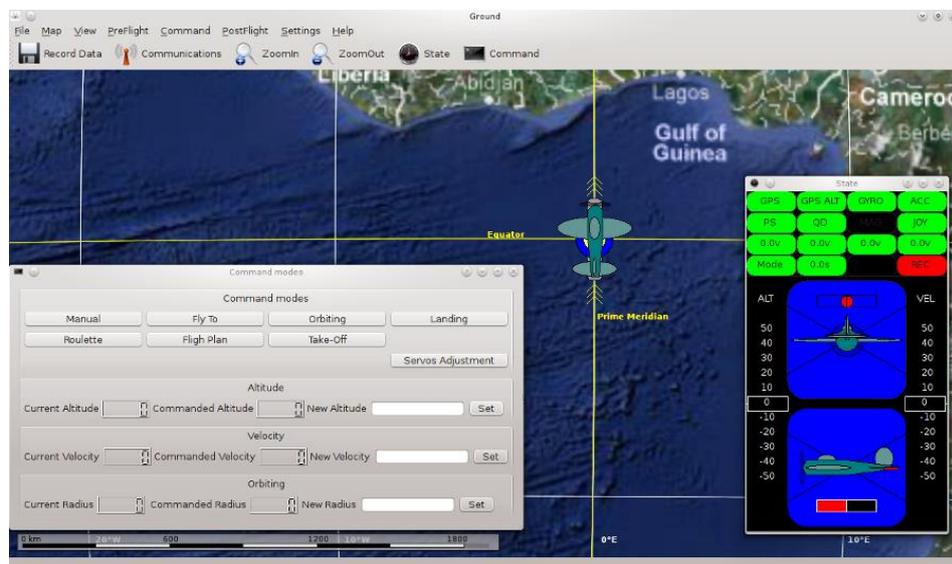


Figura 7.13: Planificación de vuelo mediante U-SEE.

7.3.3. UAV Software Ensomosaic (Grupo Acre)

MosaicMill Ltd es una empresa con sede en Finlandia que desarrolla el software EnsoMOSAIC. El desarrollo de herramientas EnsoMOSAIC se inició en colaboración con el Centro de Investigación Técnica de Finlandia y hoy continúa en desarrollo gracias a la participación de varias empresas asociadas.

El software EnsoMOSAIC está diseñado para la producción automática de ortomosaicos a partir de fotografías aéreas digitales o fotografías aéreas escaneadas. Es capaz de procesar imágenes en formato pequeño, mediano o grande tomadas con cualquier plataforma

aérea, desde vehículos aéreos no tripulados (UAV) hasta aviones diseñados para fotografía aérea.

El software EnsoMOSAIC rectifica miles de imágenes digitales en una pasada, aplicando ajuste de bloques, y las une para formar un único mosaico orto-rectificado y georeferenciado. EnsoMOSAIC crea también un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) para diferentes aplicaciones. El software puede procesar imágenes tomadas con cualquier esquema de vuelo, incluyendo líneas no paralelas y vuelos lineales.

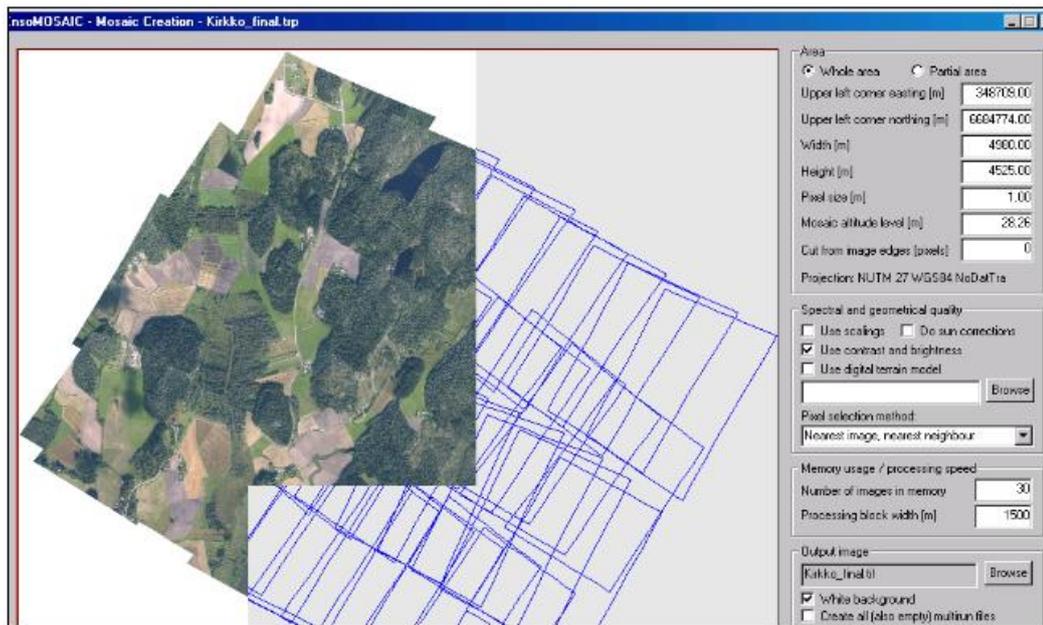


Figura 7.14: Ortomosaicos mediante Ensomosaic.

7.3.4. Modelado 3D ArcGIS para LIDAR (Esri)

ArcGIS (<http://www.esri.es/es/productos/arcgis/>) es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización. Como sistema de información, **ArcGIS** es accesible desde clientes desktop, navegadores web, y terminales móviles que se conectan a servidores de departamento, corporativos o con arquitecturas de computación en la nube (*Cloud Computing*).

Para los desarrolladores, **ArcGIS** proporciona herramientas que les permitirán crear sus propias aplicaciones.

Geoprocesamiento y análisis: Se puede aumentar la comprensión del mundo que nos rodea y mejorar la capacidad de toma de decisiones gracias a herramientas de modelización y análisis de gran potencia.

Proceso de producción cartográfica completo: Automatiza muchos aspectos de la producción, haciendo que la creación de mapas inteligentes se convierta en una tarea más rápida.

Potentes herramientas de edición: Simplifica el diseño del modelo de datos, su introducción, su calidad... gracias a herramientas de edición muy avanzadas.

Mapas para todos: Se crean fácilmente mapas que se pueden compartir sin límite con otros usuarios, personas u organizaciones.

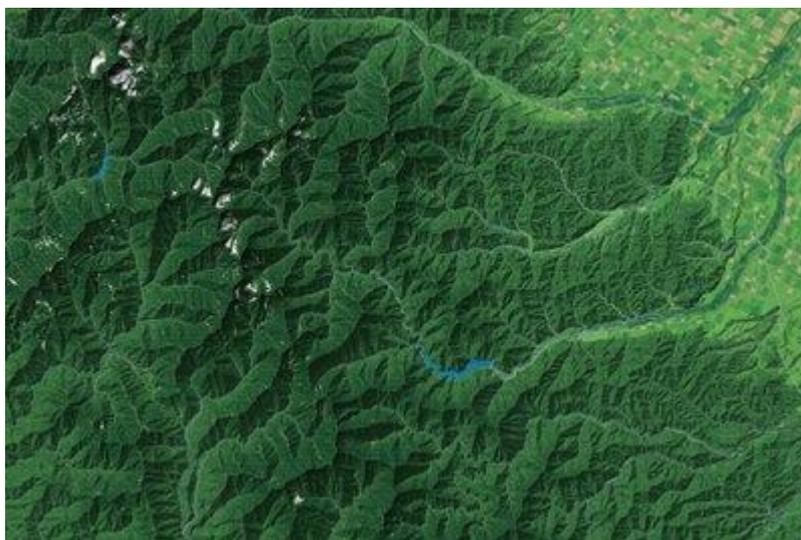


Figura 7.15: Modelado LIDAR con ARGIS.

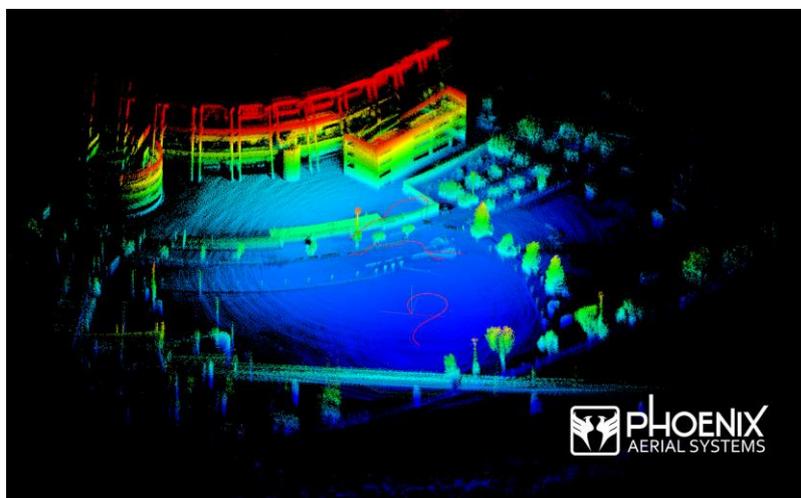


Figura 7.16: Modelado LIDAR de la empresa Phoenix Aerial Systems mediante Velodyne HDL-32E con un octocopter.

8. Propuesta de integración de equipos para aplicaciones UAS

Lo primero es definir los requerimientos de la misión objetivo. Una vez definida, el siguiente paso será la elección de los equipos que cumplirán con los requerimientos definidos en el paso anterior (carga de pago). Una vez definido (elementos necesarios para la misión especificada, conectividad entre los mismo y su peso) se deberá escoger el tipo de aeronave ideal para la misión con la carga de pago mínima necesaria para poder transportar los sistemas de los que consta dicha carga de pago. También es de vital importancia conocer el consumo de todos los equipos electrónicos de la carga de pago para conocer la autonomía de las baterías.

En este apartado, vamos a definir el o los diseños necesarios para abordar dos tipos de misión:

1. Inspección termográfica de paneles solares mediante cámara termográfica.
2. Inspección de la vegetación cercana de líneas de alta tensión mediante el modelado digital del terreno usando radar láser (LIDAR).

8.1. Inspección de paneles solares

Con una cámara termográfica, se pueden detectar y reparar las zonas potencialmente problemáticas antes de que tenga lugar cualquier problema o avería. Pero no todas las cámaras termográficas son adecuadas para la inspección de celdas solares. Se deben seguir algunas reglas y directrices para realizar inspecciones eficaces y garantizar que se sacan las conclusiones acertadas.

8.1.1. Procedimientos para inspeccionar paneles solares con cámaras termográficas

Para lograr el contraste térmico suficiente a la hora de inspeccionar celdas solares sobre el terreno, se necesita una irradiancia solar de 500 W/m^2 o superior. Para un resultado óptimo se recomienda una irradiancia solar de 700 W/m^2 . La irradiancia solar describe la potencia instantánea que incide en una superficie en unidades de kW/m^2 , que se puede medir con un piranómetro (para la irradiancia solar general) o un pirheliómetro (para la irradiancia solar directa). Depende en gran parte de la ubicación y clima local. Las temperaturas exteriores bajas pueden aumentar el contraste térmico.

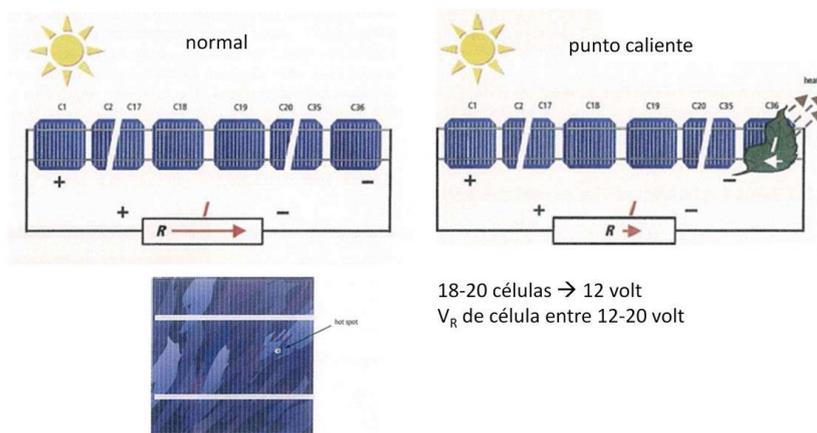


Figura 8.1: Imagen termográfica de una planta fotovoltaica.

Unos de los fenómenos más usuales a la hora de ocasionar la rotura y mal funcionamiento de prácticamente todo un panel, es el problema de los puntos calientes o *hot spots*. En condiciones de operación normales las 36 células que forman el panel, generan una corriente disipada en la carga R :

Puntos calientes, *hot spots*

“aparecen cuando las células se convierten en cargas y disipan la energía generada por el resto, elevan su temperatura y pueden dañarse”



Fuente: Planning & Installing Photovoltaic Systems (Earthscan, 2008)

Figura 8.2: Esquema de punto caliente en una placa fotovoltaica.

Ya en la asignatura de *Energía y Telecomunicaciones* impartida en la carrera de Grado en Tecnologías de Telecomunicación, se habló de este fenómeno de los hot spots:

:

- **PUNTO CALIENTE.** una hoja tapa una célula fotovoltaica que se convierte en carga; la dirección del voltaje cambia en la célula oculta; la célula oculta soportará como tensión inversa la suma de las tensiones del resto de células y la corriente del resto del panel fluye ahora por la célula calentándola. Si la célula se quema, se convierte en C.A, por lo que el módulo se queda inservible. Con el módulo en cortocircuito, porque el inversor lo cortocircuite, la célula oculta se encuentra sometida a todo el voltaje de las demás, superando seguro su voltaje inverso, situación típica en sistemas aislados con controladores de carga de baterías.

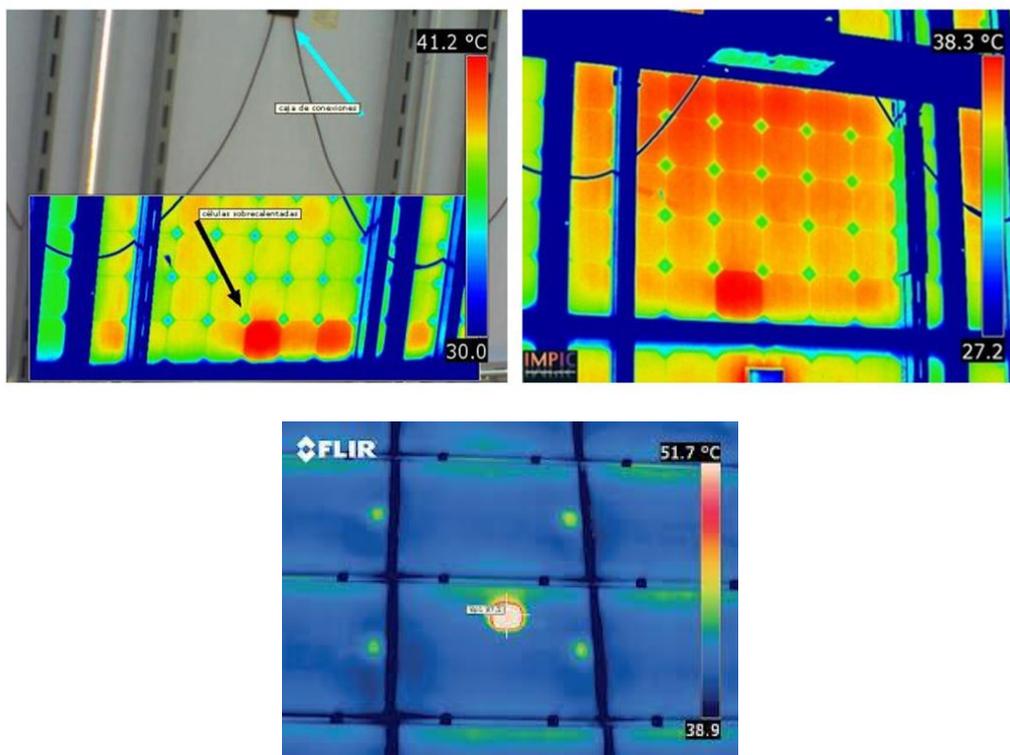


Figura 8.3: Imágenes térmicas de placas fotovoltaicas. Se pueden observar los *hot spots*.

Esta misma tecnología se usa para la inspección en líneas eléctricas de alta tensión para comprobar la existencia de pérdidas de energía por cables deshilachados o conexiones defectuosas:



Figura 8.4: Termografía aérea en líneas eléctricas mediante cámara térmica Flir.

¿Qué tipo de cámara se necesita?

Las cámaras termográficas para las inspecciones de edificios cuentan normalmente con un detector microbolómetro que cubre la banda de 8 a 14 μm . Sin embargo, el vidrio no es transparente en esta zona. Cuando se inspeccionan celdas solares desde la parte delantera, una cámara termográfica ve la distribución del calor de la superficie de vidrio, pero tan solo ve de forma indirecta la distribución del calor de las celdas subyacentes. Por lo tanto, las diferencias de temperatura que se pueden ver y medir en la superficie de vidrio del panel son pequeñas. Para que dichas diferencias sean visibles, la cámara termográfica para estas inspecciones necesita contar con una sensibilidad térmica de $\leq 0,08$ °C. Para visualizar claramente pequeñas diferencias de temperatura en la termografía, la cámara debe contar con un ajuste manual de intervalo y nivel.

Las placas fotovoltaicas se montan generalmente en estructuras de aluminio muy reflectante, en la termografía aparece como una zona fría ya que refleja la radiación térmica emitida por el cielo. En la práctica esto significa que la cámara termográfica mostrara la temperatura de la estructura por debajo de 0 °C. Dado que el algoritmo de la cámara termográfica se adapta automáticamente a la temperatura máxima y mínima que se haya medido, puede que muchas anomalías leves no sean visibles de inmediato. Para lograr una termografía con mayor contraste, se necesitaría una continua corrección manual del nivel y del intervalo. La función conocida como DDE (Digital Detail Enhancement) proporciona la solución. La DDE optimiza el contraste de la imagen de forma automática en escenas con alto rango dinámico, por lo que no hay que ajustar la termografía de forma manual. Una cámara termográfica que cuente con DDE está bien equipada para realizar inspecciones rápidas y precisas de paneles solares.

Colocación de la cámara: tenga en cuenta los reflejos y la emisividad

Aunque el vidrio tenga una emisividad de 0,85-0,90 en la banda de 8 a 14 μm , las mediciones térmicas en las superficies de vidrio no son fáciles. Las reflexiones del vidrio son especulares, lo que significa que en la termografía se apreciaran claramente los objetos de alrededor con distinta temperatura. En el peor de los casos, esto puede llevar a una mala interpretación (falsos puntos calientes) y a errores de medición.

Para evitar la reflexión en el vidrio de la cámara termográfica y del operario, esta no se debe colocar perpendicular a la placa que se esté inspeccionando. Sin embargo, la emisividad está en lo más alto cuando la cámara se encuentra en posición perpendicular y disminuye al aumentar el ángulo. Un ángulo de visión de 5° a 6° es una buena opción (siempre que 0° sea perpendicular).

Observaciones a larga distancia

Conseguir un ángulo de visión apropiado durante la preparación de la medición no siempre es fácil. En la mayoría de los casos, utilizar un trípode puede ser la solución. En condiciones más difíciles puede ser necesario utilizar plataformas de trabajo móviles o incluso sobrevolar las celdas solares con un helicóptero. En estos casos, puede ser ventajosa una mayor distancia del objetivo, dado que se puede analizar una zona más grande de una pasada. Para garantizar la calidad de la termografía se debe utilizar una cámara termográfica con una resolución de imagen de 320 x 240 píxeles, preferiblemente de 640 x 480 píxeles, para grandes distancias.

La cámara también debe tener una lente intercambiable, para que el operario pueda cambiar a un teleobjetivo en las inspecciones a larga distancia, como las que se realizan desde un helicóptero. No obstante, es recomendable que solo se utilice el teleobjetivo con cámaras termográficas que posean una alta resolución de imagen. En las mediciones de larga distancia con teleobjetivo, las cámaras termográficas de baja resolución no muestran los pequeños detalles térmicos que indican fallos en los paneles solares.

Observación desde una perspectiva diferente

En la mayoría de los casos, las placas fotovoltaicas se pueden inspeccionar también desde la parte trasera con una cámara termográfica. Este medio minimiza la interferencia de las reflexiones del sol y las nubes. Además, las temperaturas obtenidas en la parte trasera pueden ser más altas, ya que la celda se mide directamente y no a través de la superficie de vidrio.

Condiciones ambientales y de medición

Al llevar a cabo inspecciones termográficas, el cielo debe estar despejado ya que las nubes reducen la irradiancia solar y producen interferencias en forma de reflexiones. Las imágenes informativas pueden, sin embargo, obtenerse incluso con un cielo cubierto, siempre que la cámara termográfica que se utilice sea lo suficientemente sensible. Las condiciones de calma son lo más recomendable, ya que cualquier flujo de aire en la superficie del placa solar provocara un enfriamiento convectivo y, por ello, reducirá el gradiente térmico. Mientras más fría sea la temperatura, mayor será el contraste térmico potencial. Una opción sería realizar las inspecciones termográficas por la mañana temprano. Otra forma de mejorar el contraste térmico es desconectar las celdas de la carga, para evitar el flujo de corriente, lo que permite que el calentamiento se produzca únicamente mediante la irradiancia solar. Después se conecta la carga y se observan las celdas en la fase de calentamiento. En condiciones normales, sin embargo, se debe inspeccionar el sistema bajo condiciones de funcionamiento estándar, concretamente bajo carga. Dependiendo del tipo de celda y del tipo de fallo o avería, las mediciones en condiciones sin carga o en caso de cortocircuito pueden proporcionar información adicional.

Errores de medición

Los errores de medición surgen principalmente debido a una mala colocación de la cámara y a unas condiciones de medición y ambientales por debajo del nivel óptimo. Los errores de medición típicos están provocados por:

- un ángulo de visión poco profundo.
- un cambio en la irradiancia solar con el paso del tiempo (debido a cambios en el cielo, por ejemplo).
- reflexiones (por ejemplo, del sol, las nubes, los edificios altos de los alrededores, los sistemas de mediciones).
- ensombrecimiento parcial (por ejemplo, debido a los edificios u otras estructuras de los alrededores).

Lo que se puede ver en la termografía

Si hay piezas del panel solar más calientes que otras, dichas piezas aparecerán claramente en la termografía. Dependiendo de la forma y de la ubicación, estos puntos y zonas calientes pueden indicar varios fallos diferentes. Si una placa entera está más caliente de lo habitual, puede significar que hay problemas con las conexiones. Si son las celdas individuales o las hileras de celdas las que aparecen como puntos calientes o como un "patrón mosaico", los problemas pueden estar provocados por diodos de derivación defectuosos, cortocircuitos internos o desajustes de las celdas.

El ensombrecimiento y las grietas en las celdas aparecen en la termografía como puntos calientes o formas poligonales. El aumento de temperatura de una celda o parte de ella indica que la celda es defectuosa o que hay un ensombrecimiento. Deben compararse las termografías obtenidas en condiciones de carga, sin carga o en caso de cortocircuito. Una comparación de las termografías de la parte delantera y trasera de la placa también puede proporcionar información valiosa. Por supuesto, para una correcta identificación de la avería, las placas que muestran anomalías también deben probarse de forma eléctrica e inspeccionarse visualmente.

Conclusiones

La inspección termográfica de los sistemas fotovoltaicos permite la rápida localización de defectos potenciales a nivel de celdas y placas, así como la detección de posibles problemas de conexión eléctrica. Las inspecciones se llevan a cabo en condiciones de funcionamiento normal y no es necesario apagar el sistema.

Para lograr termografías correctas que aporten información, deben tenerse en cuenta ciertos procedimientos y condiciones de medición:

- Se debe utilizar una cámara termográfica con los accesorios adecuados;
- Se necesita la irradiancia solar suficiente (como mínimo 500 W/m^2 , preferiblemente más de 700 W/m^2);
- El ángulo de visión debe estar dentro de los márgenes de seguridad (entre 5° y 60°);
- Se deben evitar el ensombrecimiento y las reflexiones.

Las cámaras termográficas se utilizan principalmente para localizar defectos. La clasificación y evaluación de las anomalías detectadas necesitan un sólido entendimiento de la energía solar, un conocimiento del sistema inspeccionado y mediciones eléctricas adicionales. La documentación adecuada es obligatoria y debe contener todas las condiciones de la inspección, las mediciones adicionales y demás información importante. Las inspecciones con una cámara termográfica, comenzando con el control de calidad de la fase de instalación y siguiendo con las revisiones regulares, facilitan una supervisión simple y completa del sistema. Esto ayuda a mantener la funcionalidad de los paneles solares y a ampliar su vida útil. Utilizar cámara termográficas para inspeccionar paneles solares mejorará notablemente la rentabilidad de la inversión de la empresa.

8.1.2. UAS propuesto para inspección de placas solares

Según lo estudiado en este trabajo y utilizando los equipos de los suministradores seleccionados, se propone el siguiente UAS compuesto del AIBOTIX PACK PROFESIONAL que contiene todos los elementos ya vistos del suministrador *Grupo Acre*:



Figura 8.5: Pack profesional Aibotix X6 del Grupo Acre.

Este equipo dispone de dos canales de transmisión de imagen en directo con la estación de tierra o las gafas de vídeo por la imagen de la cámara (se podrían ver por cada canal la imagen del vuelo de la microcámara y la cámara térmica).

El pack profesional X6-BKP contiene la X6-TAB (*Tablet PC*), X6-GSSW (*Ground Station Software + GPS-Waypoint-N*) y X6-LVP (*Live Video Package*) por un precio de 39900€. En esta opción también se podría incluir una caja de aluminio para transporte X6-BOX (900€). Contiene una PLATAFORMA GIROESTABILIZADA que permite obtener las imágenes en posición cenital, o en cualquier otra posición ya que la plataforma se puede girar en un rango de 90° y conservar esa posición corrigiendo cualquier variación debido al movimiento del hexacóptero por causas del viento:



Aibot X6

Hexacóptero de cuerpo ultraligero con soporte de compensación automática que asegura imágenes estabilizadas. Incluye el Chasis del Aibot X6, la montura para cámara con interface estándar, piloto automático MAVinci, cuatro baterías de Litio, GeoBox y software Waypoint.

Radio Control

Control remoto para control del dron AibotX6. La cámara se activa mediante un interruptor conectado al transmisor. También es posible asignar funciones específicas a los interruptores del control remoto RC como la vuelta automática al punto de partida.



LVP. 5,8 GHz transmisor y receptor de vídeo. Monitor de 7"

El Aibot x6 transmite la imagen en directo desde la perspectiva del helicóptero directamente en la pantalla de la estación de tierra. Esto le da un control directo sobre las fotografías aéreas durante el vuelo y puede reaccionar inmediatamente y ajustar la configuración de la cámara. La transmisión de las señales de vídeo es analógica. La visualización en vivo de la cámara se muestra en tiempo real sin demora perceptible.



Tablet PC

Control intuitivo mediante tablet que no requiere experiencia específica en el manejo de naves mediante RC. En combinación con las gafas de vídeo proporciona al piloto un control sencillo.



Gafas de vídeo

Gafas de vídeo para visión en primera persona. Muestra la imagen directa que toma el helicóptero y podrá pilotar el Aibot X6 desde la perspectiva de la aeronave.



Cargador de baterías

Equipado con una función de equilibrio que asegura que todas las células en el pack de litio alcanzan exactamente la misma carga. Construido en una carcasa robusta con pantalla LCD que proporciona toda la información necesaria sobre el proceso de carga y el estado de la batería. La operación y los parámetros pueden cambiarse a través de los botones en la parte superior del dispositivo. El adaptador de CA incluido proporciona suficiente energía para cargar hasta 4 baterías en paralelo.



Todo esto en conjunto con la cámara termográfica T640 de FLiR, nos ofrece un producto real para la inspección de placas solares por un precio de 65900€.

Ventajas:

- Inspecciones de gran calidad debido a un proceso innovador donde, las imágenes de alta resolución térmica de los paneles solares se observan desde un plano cenital, donde se encuentra el área completa hasta los detalles más finos.
- Transmisión de imágenes en vivo al monitor.
- Vuelo autónoma mediante GPS Navigation.
- Planificación de rutas (Waypoint software).
- Inspección Visual.
- Interpretación automática falla.
- Protocolo de inspección Seamless (post-PC).
- Ahorro de tiempo y más económico que los métodos convencionales.
- Enorme reducción de costes en comparación con helicópteros tripulados (**¡4000€/hora un helicóptero convencional!**).
- Sistema Modular / helicóptero y la cámara se puede utilizar de forma independiente.

8.2. Inspección líneas de alta tensión

La inspección de líneas de alta tensión con una plataforma de vuelo inteligente resulta muy beneficioso en cuanto a costos en comparación con los sistemas convencionales helicópteros, escaladores industriales, etc):

- Reducción de costos debido a la reducción de personal y de funcionamiento.
- Reducir el tiempo de inspección.
- Mejora de la calidad debido a las imágenes de alta resolución y enfoque visual diferente.
- Aumentar la seguridad debido a la plataforma de vuelo no tripulado y el peligro para el personal.

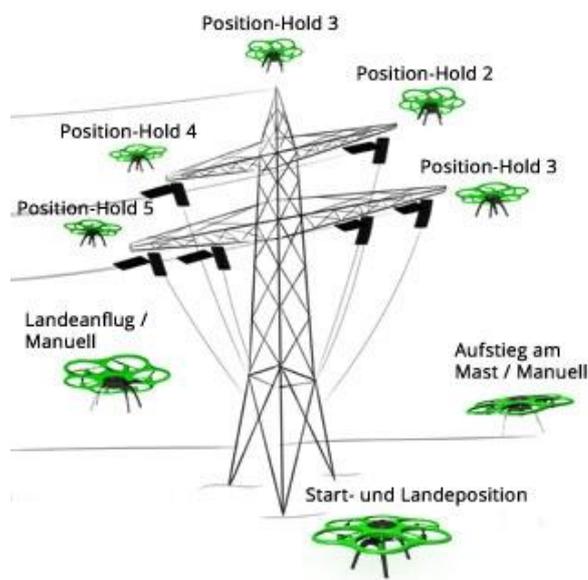


Figura 8.6: Posiciones de un UAS para inspección de torretas eléctricas.

La aplicación de UAV's a la inspección de líneas aéreas es una excelente solución, permitiendo reducir el coste económico y minimizando los riesgos para el operario que trabaja por los métodos tradicionales.

Se puede evaluar el grado de corrosión o mal funcionamiento de los distintos elementos de las instalaciones y evitar fallos o caídas en la red. Es posible planificar rutas GPS siguiendo el trazado de la línea aérea y obtener imágenes de sus distintos elementos de forma totalmente autónoma.

Campo de aplicación:

- Revisiones periódicas.
- Estimación de los daños, el análisis detallado de error de red, etc.
- Análisis de las plantas que crecen alrededor de las rutas.
- Planificación de ruta.

Características de vuelo operación del sistema:

- Fácil control del helicóptero.
- Elevación vertical paralelo al mástil con características de vuelo estables.
- GPS de posicionamiento para las imágenes.
- Si es necesario interfaces de usuario separadas para UAV y la cámara.
- Características de seguridad: anti-colisión, que vuelven a casa en caso de perder la conexión de radio.
- Control de nivel de batería con el inicio automático de vuelo, y la reanudación de la inspección en vuelo.
- Control automático de distancia.
- Automatización del proceso de inspección.

Técnicas de Grabación

- Imágenes de alta resolución digital.
- Las imágenes termográficas para la detección de punto de acceso.
- Ecografía.
- Un método de procesamiento de imagen para la evaluación de imágenes de error.



Figura 8.7: Fotografía aérea de las conexiones de líneas eléctricas.

8.2.1. Inspección de la vegetación cercana a líneas eléctricas mediante LIDAR

El LIDAR proporciona puntos sobre cualquier objeto situado sobre el terreno, en particular sobre la vegetación. En un bosque, si los espacios entre las hojas son lo suficientemente grandes, algunos pulsos láser alcanzarán el suelo y podremos, con ellos, construir un MDT. Muchos de los puntos rebotarán en la vegetación a diferentes alturas y esto nos abre el camino para nuevas aplicaciones. El LIDAR es la única técnica de teledetección capaz detectar simultáneamente el terreno y la vegetación. Es sencillo obtener un modelo de altura de la vegetación, calcular la altura predominante de una zona o detectar los árboles más altos. Se define el **coeficiente de penetración** como el cociente entre los puntos que alcanzan el suelo y los puntos totales. Este parámetro está muy relacionado con la fracción de cabida cubierta (porcentaje del terreno cubierto por la proyección vertical de la

vegetación). Con altas densidades de puntos (alrededor de 10 puntos/m²) se pueden detectar de manera automática los árboles individuales y calcular los tamaños de las copas. En bosques con una única especie arbórea se puede estimar el volumen de madera y el diámetro del tronco. Como tenemos rebotes a diferentes alturas cabe la posibilidad de estudiar la estratificación vertical de la vegetación y la biomasa. En una dirección los árboles individuales son perfectamente identificables mientras que en la dirección perpendicular esta identificación no es posible porque las ramas están entrelazadas.

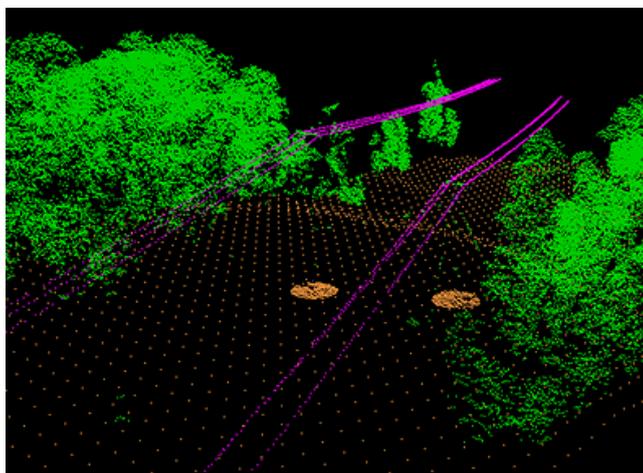


Figura 8.8: Imagen modelada en 3D mediante LIDAR.

8.2.2. UAS propuesto para inspección de la vegetación cercana en líneas eléctricas

Para este caso se ha propuesto las soluciones que proporciona la empresa *Airelectronics*. Con este suministrador podemos crear un UAS modular ya que se pueden obtener cada componente por separado (UAV, piloto automático, estación base, etc...).

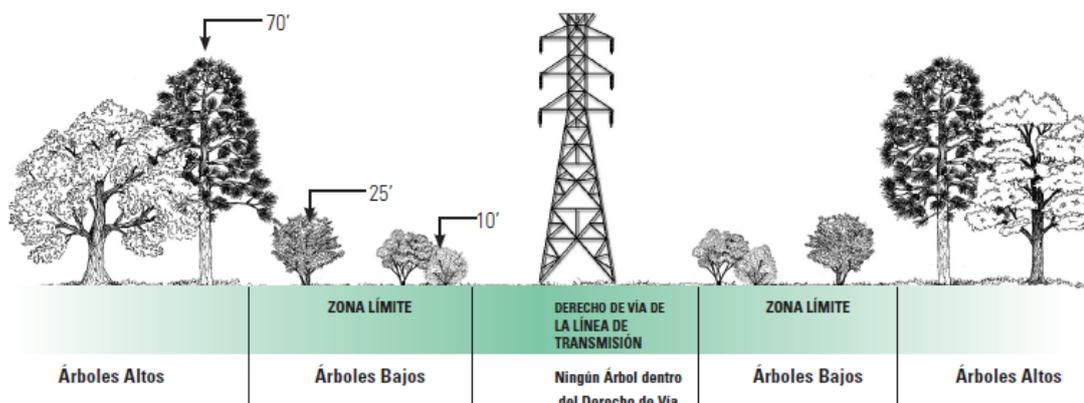


Figura 8.9: Zonas límite de la vegetación cercana a líneas eléctricas.

El equipo propuesto se compone de los siguientes elementos:

INSPECCION VEGETACION LINEAS ELECTRICAS MEDIANTE LIDAR					
	ELEMENTO/EQUIPO	SUMINISTRADOR	PESO	CARGA DE PAGO	PRECIO
SECTOR AIRE	HELICOPTERO BENZINE	AIRELECTRONICS		2,4KG	11.160 €
	ORDENADOR COCKPIT U-PILOT	AIRELECTRONICS	¿?		7.240 €
	MAGNETOMETRO EXTERNO (para ala rotatoria)	AIRELECTRONICS	¿?		800 €
	LIDAR VELODYNE	VELODYNE (EE.UU)	1,3KG		31.000 €
	*CAMARA VIDEO Go Pro Hero 3 Black Edition	GRUPO ACRE			300 €
	KIT DE INSTALACION U-PILOT	AIRELECTRONICS	¿?		345 €
SECTOR TIERRA	ESTACION TIERRA U-STATION	AIRELECTRONICS	N.I	N.I	5.890 €
	CONTROL RC FUTABA	AIRELECTRONICS	N.I	N.I	285 €
	LICENCIA SOFTWARE VUELO U-SEE	AIRELECTRONICS	N.I	N.I	2.200 €
	**LICENCIA SOFTWARE PROCESADO LIDAR ARCGIS (ANUAL)	ESRI	N.I	N.I	24.000 €
	KIT DE INSTALACION U-STATION	AIRELECTRONICS	N.I	N.I	410 €
TOTAL					83.630 €

* Opcional para ver la misión "como si se estuviera pilotando"

** Opcional: el LIDAR HDL-32 trae su propio software.

N.I: No Influye

¿?: el suministrador no tiene información

Todos los elementos ya han sido descritos en este documento a excepción de los kit de instalación, que no son más que los distintos tipos de cables para conectar cada uno de los elementos, tanto en el segmento aire como en el de tierra.

Desventajas

El uso de un helicóptero tiene una serie de desventajas frente al uso de un hexacoptero o un vehículo de ala fija, por ejemplo:

- El helicóptero tiene que estar bien ajustado (necesita un mantenimiento mayor), ya que cualquier pieza en mal estado a desajustada, puede hacer que caiga al suelo. El hexacoptero puede volar estabilizado incluso con un motor averiado. El aeroplano puede planear en caso de fallo del motor.
- El uso de las aspas conlleva un peligro evidente: se tratan de dos "espadas" girando a una velocidad considerable, con el consiguiente peligro de lesiones en caso de contacto.

9. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

En este trabajo se ha realizado un estudio de los vehículos aéreos no tripulados y la integración de equipos electrónicos de control, sensado y comunicaciones para formar un sistema capaz de realizar misiones para diversas aplicaciones civiles.

Comenzando por las arquitecturas disponibles, la normativa para la integración de los UAS en el espacio aéreo no segregado hasta los equipos electrónicos necesarios para las aplicaciones civiles más comunes, se han propuesto dos diseños para 2 misiones de aplicaciones civiles mediante la integración de los sub-equipos estudiados. Para ello, se han puesto en juego los equipos suministrados por una serie de empresas, la mayoría españolas, que integradas conjuntamente con un vehículo aéreo no tripulado, deben ser capaces de cumplir con los requerimientos de las misiones propuestas en este trabajo.

A grandes rasgos, en este trabajo se ha realizado lo siguiente:

- **Estudio de los UAS** y de los sistemas que los componen.
- **Búsqueda de información** acerca de suministradores (prioritariamente nacionales) de UAVs y equipos electrónicos de comunicación, sensado y control remoto para vehículos aéreos no tripulados y de los propios vehículos.
- **Estudio de los equipos suministrados** para comprobar su integrabilidad y conectividad entre los mismos para la configuración de un sistema “real” y “funcional”.
- **Propuesta de integración** de diversos equipos de comunicación, sensado y control remotos en un UAV.

En la búsqueda de información de todos los elementos que componen un UAS (UAV, equipos del segmento aire, equipos del segmento tierra, etc...), nos hemos encontrado con la dificultad de obtener los esquemáticos de funcionamiento y/o conexiones. Los suministradores venden kits completos, los cuales aseguran su total conectividad entre sí ya que algunos de estos suministradores son, además, desarrolladores. Puede que el *celo profesional* sea el culpable de la no obtención de la información requerida.

Las posibles **líneas de trabajos futuros** podrían ser:

- **Integración real** de los sistemas seleccionados y su **experimentación** en las misiones “reales” propuestas en este trabajo.
- Estudio experimental del **modelado digital 3D LIDAR**: obtención de la información de un lidar y su post-procesado.
- Diseño de **interfaces para control de cargas de pago** mediante Ardupilot.
- **Nuevas propuestas de integración** para otras aplicaciones civiles.

10. Bibliografía

Ministerio de Defensa. (2009), “UAS (Unmanned Aircraft System. Sobre su integración en el espacio aéreo no segregado”. *Monografías del SOPT*.

Hiyang Chao & YangQuan Chen. “Remote Sensing and Actuation Using Unmanned Vehicles”. *IEEE Press*

Reg Austin (2010). “Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment”. *WILEY*

Kopp, C. (2007), “Active Electronically Steered Arrays,” *Air Power Australia website*. Retrieved May 30, 2007. <http://www.ausairpower.net/aesa-intro.html>

Raska, V. (2004), “See and Avoid (SAA) Passive Ranging Concepts,” Proceedings of TAAC Conference, Santa Ana Pueblo, New Mexico.

Stanford (2005), Stanford Racing Team’s Entry in the 2005 DARPA Grand Challenge.

Grilley, David E. (2005), “Resolution Requirements for Passive Sense & Avoid,” Alion Science & Technology, 3592 Collins Ferry Rd., Ste 180, Morgantown, West Virginia 26505.

Kim, D.-J., K.-H. Park, and Z. Bien (2007), “Hierarchical Longitudinal Controller for Rear-End Collision Avoidance,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 54, No. 2.

“Cronología de los UAV”. <http://actualidad.rt.com/actualidad/view/80396-vehiculos-aereos-tripulados-hitos-historicos>

10.1. Enlaces de Interés

- ❖ <http://www.unmannedsystemstechnology.com>
- ❖ <http://www.fly-n-sense.com>
- ❖ <http://www.usol.es/>
- ❖ <http://www.dronetools.es>
- ❖ <http://www.aeryon.com>
- ❖ <http://www.airelectronics.es/>
- ❖ <http://www.grupoacre.com/uavs/portada>
- ❖ <http://www.lehmannaviation.com>
- ❖ <http://www.phoenix-aerial.com/>
- ❖ <http://api.ning.com>
- ❖ <http://www.headwallphotonics.com>
- ❖ <http://www.directindustry.es>
- ❖ <http://www.cloudcaptech.com>
- ❖ <http://www.uavvision.com/gimbals/cm160.html>
- ❖ <http://honeywell.com>
- ❖ <http://www.aibotix.es>
- ❖ <http://www.optris.com>
- ❖ <http://www.lumenera.com>
- ❖ <http://www.imperx.com>
- ❖ <http://www.thermoteknix.com>
- ❖ <http://www.flir.com>
- ❖ <http://www.sony.es>