



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

**ESTUDIO SOBRE VEHÍCULOS AÉREOS NO
TRIPULADOS Y SUS APLICACIONES**

Autor:

García García, Israel

Tutor:

**Quintano Pastor, Carmen
Departamento: Tecnología
Electrónica**

Valladolid, Marzo de 2017.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



A mis padres, sin su apoyo, ayuda y comprensión nada de esto habría sido posible. Gracias por comprender a aquel joven que quiso marcharse a una ciudad desconocida a realizar sus estudios.

A mis amigos, compañeros de clase y de piso, con los que tantas anécdotas, celebraciones o desilusiones, he compartido. Alfonso, siempre estarás a mi lado.

A mi novia, por convertirte en un pilar fundamental en estos últimos años.

A mi tutora, por ofrecerme la oportunidad de realizar este proyecto tan interesante y actual.

Sin olvidar a todas aquellas personas que de una manera directa o indirecta me han apoyado en todo este tiempo.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Resumen

El objetivo del presente Trabajo Fin de Grado consiste en la elaboración de una guía de fácil acceso que contenga los sensores y aplicaciones civiles desarrolladas por Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT). Se describirán las principales aeronaves utilizadas, modos de operación y normativa vigente en España. Además, se describirán diferentes vehículos no tripulados como los terrestres, submarinos o anfibios. Cuando sea posible, se compararán diferentes aplicaciones desarrolladas con multirrotores o drones de ala fija. Para finalizar cada aplicación, se describen diferentes recomendaciones a tener en cuenta para una correcta captura y procesamiento de datos.

Palabras clave:

Dron, aplicación, sensor, VANT, seguridad

Abstract

The objective of this Final Project involves the development of an essay in order to show the sensors and civil applications developed by Unmanned Aerial Vehicle (UAV). It'll describe the main aircraft uses, modes of operation and regulations in force in Spain. In addition, it'll describe different unmanned vehicles such a terrestrial, submarine or amphibious. Meanwhile, it'll compare different applications developed with multicopter or fixed wing drones. To conclude, each application, is described with its different recommendations that must be considered for a correct capture and data processing.

Keywords:

Drone, application, sensor, UAV, security



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Introducción y objetivos	13
1.- Vehículos aéreos no tripulados (“drones”)	17
1.1 Presentación	17
1.1.1 Historia mundial	17
1.1.2 Historia española	20
1.2 Tipos de drones	23
1.2.1 Según su uso	23
1.2.2 Según sus alas	24
1.2.3 Según el método de control	26
1.3 Partes de un dron	28
1.3.1 Marco (frames)	28
1.3.2 Batería	28
1.3.3 Motores y Hélices	30
1.3.4 Radio receptor (mando)	34
1.4 Sistemas de ayuda al vuelo	35
1.4.1 Failsafe	35
1.4.2 Sistema de Posicionamiento Global “GPS”	35
1.4.3 Visión en primera persona “visores de realidad virtual o FPV”	36
1.4.4 Magnetómetro	37
1.4.5 Controlador de vuelo/ placa controladora	37
1.4.6 Energía de consumo	38
1.4.7 Controlador de velocidad (tubo de pitot)	39
1.4.8 Brújula magnética	41
1.4.9 Barómetro/ Altímetro	41
1.4.10 Giroscopio	42
1.4.11 Estabilizador de vuelo	43
1.4.12 Radar	44
1.4.13 Acelerómetro	45
2.- Sensores a bordo de los drones	47
2.1 De Imagen	47
2.1.1 En función de su resolución espacial	48



2.1.2 En función de su longitud de onda	49
2.2 Estabilizadores de imagen	52
2.2.1 Mecánico.....	52
2.2.2 Digital.....	53
2.3 Otros sensores y sistemas.....	54
2.3.1 Gases.....	54
2.3.2 Telemetría	55
2.3.3 Ultrasonidos	55
2.3.4 Sistema LIDAR.....	57
3.- Otros vehículos no tripulados.....	58
3.1 Vehículos terrestres no tripulados.....	58
3.2 Vehículos submarinos no tripulados	58
3.3 Vehículos anfibios no tripulados.....	59
4.- Normativa relativa a los vehículos no tripulados (drones)	61
5.- Aplicaciones.....	67
5.1 Defensa y seguridad	69
5.1.1 Seguridad y terrorismo	69
5.1.2 Control fronterizo y rescate de personas	74
5.1.3 Control del tráfico.....	80
5.1.4 Control fiscal.....	84
5.1.5 Vigilancia de infraestructuras ferroviarias	89
5.1.6 Lucha contra incendios y emergencias	97
5.1.7 Detección de minas	105
5.2 Comercial o industrial.....	110
5.2.1 Mantenimiento de palas de aerogeneradores.....	110
5.2.2 Mantenimiento de líneas eléctricas	116
5.2.3 Producción de energías renovables.....	126
5.2.4 Agricultura y recursos boscosos	130
5.2.5 Ganadería.....	149
5.2.6 Urbanismo y arqueología.....	161
5.2.7 Recursos minerales.....	169
5.3 Ocio.....	175
5.3.1 Servicios de entrega a tiempo.....	175



5.3.2 Servicios y entretenimiento	181
6.- Conclusiones y líneas futuras.....	188
Bibliografía.....	190
Anexo	197



Figura 1, Queen bee.....	17
Figura 2, MALE UAS Predator.	19
Figura 3, Siva, primer vehículo no tripulado fabricado en España.	21
Figura 4, marco.	28
Figura 5, batería.....	30
Figura 6, esquema motor brushless.....	31
Figura 7, motor brushless.....	33
Figura 8, hélices.	34
Figura 9, mando.	34
Figura 10, failsafe independiente a la controladora de vuelo.....	35
Figura 11, ubicación GPS.	36
Figura 12, visión en primera persona.....	37
Figura 13, magnetómetro.	37
Figura 14, placa controladora.....	38
Figura 15, esquema tubo de pitot.	40
Figura 16, controlador de velocidad.	40
Figura 17, altímetro.	42
Figura 18, relación entre el GSD y la altura de vuelo.	48
Figura 19, cámara óptica.	49
Figura 20, estabilizador de imagen mecánico.	53
Figura 21, detector de gases.	54
Figura 22, placa generadora de ultrasonidos.	57
Figura 23, vehículo terrestre no tripulado.	58
Figura 24, ROV (izquierda), UUV (derecha).....	59
Figura 25, vehículo anfíbio no tripulado.	59
Figura 26, nanodron.....	71
Figura 27, captación de intrusos a través de una cámara con visión nocturna.	71
Figura 28, AUV que emula un halcón.....	73
Figura 29, captación de datos y coordinación de medios del Proyecto Perseus.....	76
Figura 30, VANT utilizados para cubrir territorio.....	77
Figura 31, ubicación de puntos negros en el territorio español en el año 2015.	81
Figura 32, MESI.	86
Figura 33, red de infraestructuras de RENFE y Adif.....	91
Figura 34, multirroto buscando irregularidades en las vías.....	92
Figura 35, prototipo de la empresa Thales.....	94
Figura 36, multirroto tomando imágenes en el viaducto de Roquemaure.	94
Figura 37, Helipse HE190.....	95
Figura 38, incendios de Fandicosta y del cementerio de neumáticos visto desde un dron.....	98
Figura 39, hectáreas de terreno afectado por incendios en los últimos 10 años.....	98
Figura 40, imagen térmica de un incendio forestal.	100



Figura 41, FAROS sometido a una prueba de resistencia al fuego.	101
Figura 42, prototipos de depósitos no tripulados.....	102
Figura 43, fases del sistema Nitroflex.	103
Figura 44, dron utilizado para la detección de minas.	106
Figura 45, foto captada por una cámara térmica.	107
Figura 46, multirrotor detector de minas.....	108
Figura 47, detección mediante GPS de minas.	109
Figura 48, acercamiento de un multirrotor a una pala.	111
Figura 49, multirrotor EOL 6.3	113
Figura 50, daño producido por un impacto sobre una pala de un aerogenerador.	114
Figura 51, daño producido por erosión de partículas sobre una pala y una torre de un aerogenerador.	114
Figura 52, daño en cable guarda.....	118
Figura 53, daños por descarga eléctrica en cable conductor y aislamiento.....	119
Figura 54, invasión de la caja de servidumbre.....	119
Figura 55, punto caliente leve en empalme.	120
Figura 56, punto caliente leve en conexión.....	120
Figura 57, punto caliente grave en conexión.	121
Figura 58, inspección ultravioleta y análisis.	122
Figura 59, medición de distancias entre los anclajes y la vegetación o terreno.....	122
Figura 60, aplicación Google Earth, cargando los datos obtenidos por el sistema LIDAR, con el cálculo de distancias entre la línea, vegetación y terreno.	123
Figura 61, central termosolar de torre, y energía solar.	126
Figura 62, captura de imágenes.....	135
Figura 63, Detalle de la imagen formada por las bandas Verde, Rojo e infrarrojo cercano sobre la parcela de maíz.....	136
Figura 64, plano resumen donde quedan reflejadas la situación de las plantas y las zonas que presentan algún tipo infestación.	137
Figura 65, imagen termica para el calculo del estrés hidrico de un viñedo.	138
Figura 66, realización practica del conteo de plantas.	144
Figura 67, Proceso de plantacion mediante un dron.	147
Figura 68, posicionamiento de las imágenes tomadas vía GPS.	152
Figura 69, control geométrico del vuelo.	152
Figura 70, diferencias posicionales y limitaciones geométricas de la imagen georreferenciada (elementos en rojo), en comparación con la fotografiada (verde). ...	153
Figura 71, mosaico de imágenes captadas por un VANT.	154
Figura 72, se muestran resultados de localización de individuos potenciales en el mosaico.	155
Figura 73, resultados aportados por el software ENVI.	155
Figura 74, contabilización de reses.	156
Figura 75, multirrotor de 6 ejes con mando a distancia y un ordenador portátil para configurar el sistema GPS.....	157
Figura 76, imagen observada a través de diferentes bandas.	158



Figura 77, patrones de calibración homogéneos para una imagen.....	159
Figura 78, tratamiento con líneas de rotura.	164
Figura 79, yacimiento arqueológico del Cerro de las Cabezas.	165
Figura 80, modelo mediante sistema LIDAR del yacimiento arqueológico del Cerro de las Cabezas.	167
Figura 81, extracción de materias primas en territorio nacional.	170
Figura 82, cartografía de una mina cielo abierto.....	171
Figura 83, curvas de nivel de una mina cielo abierto.....	171
Figura 84, diferenciación de minerales en función de su longitud de onda.	172
Figura 85, resultados de la Magnetometría en una mina de hierro.	173
Figura 86, anomalías producidas en la atmosfera y gravimetría en una mina de carbón.	173
Figura 87, repartidor manipulando un multirrotor.....	176
Figura 88, prototipos propuestos por Amazon.....	178
Figura 89, monorrotor ayudando al camarero.	179
Figura 90, multirrotor cercano a la mesa de los clientes, esperando a que llegue el camarero.	180
Figura 91, red de drones, satélites y tecnologías terrestres.	182
Figura 92, Aquila.	183
Figura 93, multirrotor MUPPette.....	184
Figura 94, partes del proyecto MUPPette.....	184
Figura 95, trazado de las World Drone Prix.....	185



Introducción y objetivos

En los últimos siglos, la tecnología se ha desarrollado a un ritmo trepidante. La invención de las primeras aeronaves tripuladas, las redes de comunicación o la radiocomunicación, entre otros, han traído consigo múltiples avances, donde los Vehículos Aéreos No Tripulados “VANT” son un claro ejemplo de ello.

Los VANT, comúnmente conocidos como drones, tienen la peculiaridad de no disponer de un piloto en el interior de la aeronave, por lo que ésta es dirigida por una persona o sistema electrónico externo, que decide en cada momento el siguiente paso a seguir. La habilidad, los sentidos y la pericia del aviador son sustituidas por sensores electrónicos de gran precisión, que aportan una maniobrabilidad similar a la contribuida por todo el personal abordo.

No se debe caer en el error de pensar que un dron y un vehículo teledirigido es el mismo aparato, puesto que la principal diferencia radica en que los drones son utilizados para tomar datos a través de diferentes sensores o sistemas de ayuda al vuelo y los vehículos teledirigidos no tienen incorporado ningún sensor.

Desde sus orígenes militares los drones han tenido la finalidad de aumentar la seguridad del ser humano por encima de la seguridad de las propias aeronaves, por ello los modos de empleo utilizados siempre han trasladado a las personas que las manejan, lejos de los lugares donde puedan sufrir algún daño. Los primeros modelos radiocontrolados, permitían al piloto tener acceso a todos los datos de vuelo que tendría al estar en el interior del vehículo situándolo en un lugar lo suficientemente alejado que le garantizara no sufrir ningún daño en caso de aparecer algún peligro inmediato. Con el paso de los años y fundamentalmente con la mejora e invención de nuevas tecnologías como el GPS, han ido apareciendo varios modos de utilización hasta llegar al actual modo autónomo, que permite a un dron despegar, realizar cualquier intervención de forma periódica, y aterrizar sin la intervención ni presencia humana, para ello el piloto sólo deberá programar la ruta a través de un software e indicar el momento requerido para la toma de cualquier dato.

De igual modo, los sensores instalados en las aeronaves también han sufrido múltiples cambios desde los primeros drones utilizados como blanco o para misiones de reconocimiento. La posibilidad de transmisión de imágenes o datos en tiempo real a una base o dispositivos terrestres, o el aumento de la carga de pago que pueden trasladar las mismas, ha significado un gran avance, puesto que ha permitido incorporar un mayor número de sensores



que permiten controlar agentes propios del vuelo, como velocímetros, giroscopios o altímetros, o agentes externos al vuelo como las concentraciones de gases, o la implantación del sistema LIDAR entre otros. Despertando así el interés de una nueva industria civil dedicada exclusivamente a la fabricación y mantenimiento de estos vehículos no tripulados.

Por todo ello los drones son utilizados en múltiples aplicaciones dependiendo del número de sensores que tengan incorporado. Las aeronaves más sencillas y económicas cuentan con estabilizadores de imagen y cámaras ópticas, para poder captar o grabar cualquier imagen que sea de relevancia, estas son ampliamente utilizadas en las industrias relacionadas con el entretenimiento, mientras que las más complejas cuentan con infinidad de sensores, cámaras y sistemas de comunicación, cuya finalidad es realizar un barrido del medio que les rodea, detectando y atacando a cualquier tipo de peligro que se les pueda presentar, estas aeronaves son ampliamente utilizadas en el ámbito militar.

El objetivo principal, de este proyecto es el ser una guía de fácil acceso, donde poder encontrar gran parte de las aplicaciones civiles con mayor uso, proyección y relevancia en nuestro país, encontrando los vehículos más frecuentemente utilizados en cada caso, sus métodos de utilización y los resultados obtenidos por cada uno de los software. Esta pretensión es debida a las dificultades existentes en la actualidad de encontrar información exhaustiva de cada aplicación. Donde no solo se describa qué se hace, dejando a un lado el cómo y a través de qué drones se hace.

Entre los objetivos secundarios se pueden encontrar:

- Descripción de los modos de utilización de un VANT y en que aplicaciones son frecuentemente empleados.
- Descripción de los diferentes sensores y sistemas de ayuda al vuelo que pueden ser instalados en un VANT.
- Descripción de diferentes modelos de vehículos no tripulados y campos de aplicación.
- Evaluación de la normativa vigente, encontrando diferencias entre la misma y el desarrollo de las aplicaciones, incluyendo el carnet necesario para cada aeronave.
- Comparación siempre que sea posible dentro de una misma aplicación, entre vehículos de ala fija y ala rotórica, o entre diferentes métodos de detección.
- Diferenciación entre aplicaciones que deben estar operadas por los cuerpos y seguridad del estado o empresas privadas dedicadas a la



seguridad y aplicaciones operadas por autónomos, pymes u otras empresas.

- Definición del grado de desarrollo y las proyecciones de futuro de cada aplicación.
- Ampliación del conocimiento y funcionamiento de estas aeronaves.

Dar solución a estos objetivos supondría facilitar la búsqueda de información de una aplicación concreta, especialmente si se utiliza un vehículo aéreo no tripulado.

La memoria que recoge el siguiente trabajo se ha estructurado en 6 capítulos, a los que se debe añadir la bibliografía consultada y el anexo.

En el capítulo uno se ha realizado una breve presentación histórica de los VANT tanto a nivel mundial como nacional, diferentes clasificaciones en función de su uso, sus alas o métodos de control, una breve descripción de las partes que tiene un dron, y los sistemas de ayuda al vuelo que se pueden incorporar en su funcionamiento.

El capítulo dos está dedicado a los diferentes sensores y sistemas, en él se recogen diferentes elementos cuya única finalidad es la captación de datos susceptibles de ser analizados o procesados.

En el capítulo tercero se describen diferentes vehículos no tripulados, que aportan al proyecto un mayor abanico de posibilidades a la hora de realizar diferentes acciones.

El cuarto capítulo consta de todas las leyes nacionales y normativa internación relativa a todas estas aeronaves. Se dispondrá de un anexo con la ley actual.

En el quinto capítulo se desarrollara el grueso del proyecto, en él se describirán las diferentes aplicaciones de forma individual, utilizando siempre el mismo formato, que consta de una breve introducción, vehículos recomendados, la descripción de la misma y unas breves conclusiones.

El último capítulo se reservará para recoger las conclusiones a las que se han llegado en este trabajo fin de grado, indicando unas posibles líneas de investigación a raíz del mismo.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

1.- Vehículos aéreos no tripulados (“drones”)

1.1 Presentación

1.1.1 Historia mundial

Al igual que la navegación por satélite “GPS”, el desarrollo inicial de internet o la bomba atómica, los vehículos aéreos no tripulados han sufrido un fuerte empuje del I+D militar. En realidad, el empleo de drones maniobrados por los diferentes ejércitos no es algo nuevo, en sus raíces, bajo el nombre de aeronave pilotada remotamente (RPA), se esconden los prototipos de los llamados “torpedos aéreos” posteriormente llamados “misiles crucero”, estas bombas se emplearon como blanco fácil, en la Primera Guerra Mundial (1914-1918), aunque de manera muy limitada, puesto que pretendían ser un armamento de largo alcance, sin embargo este difícilmente alcanzaba distancias de varios cientos de metros, debido a los cambios de viento y la variabilidad de la distancia hacia un objetivo móvil. No obstante marcaron el comienzo de una nueva tecnología, aunque los sistemas utilizados fueran burdos y poco fiables, resultaron ser muy ingeniosos.

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), Gran Bretaña abandonó el desarrollo de misiles crucero, pasando a desarrollar blancos aéreos con control por radio. Para ello desarrollaron el modelo llamado Fairey, aunque fue con el Queen bee, con el que se produjeron 420 unidades entre los años comprendidos entre el 1934 y 1943. Esta aeronave era una versión del avión madera De Havilland Tiger Moth. En paralelo Estados Unidos desarrollo el RP4, del que se produjeron varios miles de unidades, sirviendo como sistema de entrenamiento de las fuerzas de artillería. La Alemania de Hitler, también tuvo su visión del misil crucero, el VI Vengeance Weapor, siendo pioneros en incorporar un motor a reacción.



Figura 1, Queen bee.



El término de vehículo aéreo no tripulado “VANT”, se extendió al describir a las aeronaves robóticas y reemplazó al vehículo aéreo pilotado remotamente “RPA”.

En la década de los 50, los drones seguían utilizándose como blancos aéreos, la compañía Radioplane, desarrolló los llamados Falconer o Shelduck, en los que se adaptaron sistemas radio-control cada vez más evolucionados, estos modelos fueron desarrollados con el objetivo de confundir a los sistemas radar enemigos.

Aunque no fue hasta la Guerra Fría (1947-1991) cuando se empiezan a usar de manera más asidua, especialmente durante la intervención norteamericana en Vietnam. En los años 60 los blancos son cada vez más rápidos y de mayor alcance, como el Ryan Fire bee, cuya modificación facilitaba la incorporación de bombas para objetivos terrestres, también fueron equipados con cámaras para misiones de reconocimiento. Estas aeronaves sobrevolaban el territorio enemigo a grandes altitudes aunque dentro del radio de control de la estación situada en tierra. Los VANT eran lanzados desde tierra con un motor cohete o desde el aire con un avión tripulado como el C130 Hércules. El aterrizaje se producía a través de un paracaídas.

El primer VANT fue el helicóptero DASH, su objetivo era sobrevolar las fragatas estadounidenses transportando torpedos, para atacar a los submarinos enemigos, manteniendo así lejos de sus barcos las cargas. También fue el primer aparato en introducir una revolución como es el ala rotórica.

En la década de los 70, se empiezan a desarrollar las misiones de reconocimiento y vigilancia, tanto de corto como de largo alcance y elevada altitud. El belga MBLE Epervier, estaba equipado con un pequeño turborreactor, se lanzaba desde una rampa con un cohete y se recogía con un paracaídas. Dicha nave volaba mediante un autopiloto pre-programado asistido por radio, tenía instaladas cámaras ópticas, grabando todos los datos a bordo, para procesarlos en la estación de tierra a su regreso.

En la década de los 80 el ejército israelí empleó VANT para enfrentarse a las defensas antiaéreas sirias en Líbano, las aeronaves utilizadas alcanzaban una mayor altura y tenían un gran alcance, el avance tecnológico existente en predicciones meteorológicas, la introducción de las cámaras, permitiendo grabar en tiempo real, el sistema GPS, la evolución de los motores, y el aumento del radio operativo hasta los 200Km, hacían de los VANT fueran verdaderamente más interesantes a nivel bélico, por eso tras el éxito de estas incursiones israelíes, Estados Unidos empezó a desarrollar nuevos equipos como el Gnat o el MALE UAS Predator, situándose a día de hoy ambos países

a la vanguardia del mercado mundial de drones. Además se empezó a investigar cómo aumentar el alcance y la autonomía para la operación naval, realizando lanzamientos desde las cubiertas de los buques. Se empezaron a realizar aeronaves con sistemas de navegación y control de giro estabilizado en tres ejes, basados en sistemas autónomos de vuelo computarizado y con un doble canal de enlace seguro.



Figura 2, MALE UAS Predator.

Durante este periodo empezó la expansión de los RPAS “sistemas de aeronaves pilotadas a distancia”, debido fundamentalmente al aumento de la distancia de operación. Con esta distinción cabe destacar las diferencias con los VANT, que como ya se ha visto son vehículos aéreos no tripulados, queda por tanto claro afirmar que todos los RPAS son VANT pero no todos los VANT son RPAS.

La invención del láser, el relé de comunicaciones, las cámaras infrarrojas, unidas con la búsqueda continua de una precisión más fiable en la navegación y el guiado, permitió dotar a los aparatos de una mayor fiabilidad en el aterrizaje en tierra.

En los años 90, el impulso producido por las comunicaciones de los satélites, liberó a las aeronaves de operar dentro del alcance de la señal de radio y de los sistemas de navegación inexactos basados en giroscopios y datos del aire. Apareciendo nuevos formatos digitales de control de vuelo, que produjeron la invención de nuevas aeronaves más sofisticadas como el Gnat, propulsada por un motor alternativo, se considera el precursor de los actuales sistemas de media altitud, contando con una gran autonomía. Este modelo consta de versiones A, B y C, llegando a finales de la década a la invención del MALE Predator.

A principios de la década pasada se añadió una nueva misión complementaria a la inteligencia militar, como dotar a algunos drones con misiles y más tarde con bombas guiadas. Su empleo en la guerra de Irak y posteriormente contra Al Qaeda en Pakistán ha superado las expectativas



iniciales, potenciando aún más las expectativas de los vehículos no tripulados.

La necesidad de tener que alcanzar cada vez mayores distancias, aumentar la autonomía de las plataformas existentes, obligó a desarrollar UAV, más grandes y pesados, propiciando así la aparición en el siglo XXI, del Predator B, equipado con un motor turbohélice y el Global Hawk, equipado con un motor turbofan, capaz de alcanzar una mayor altitud. Aunque también se empezaron a desarrollar aeronaves más livianas y pequeñas, para el apoyo de las tropas en tierra (ver Historia).

Por otro lado las aeronaves civiles muestran un nuevo punto de vista de esta tecnología, potenciando nuevas aplicaciones como agricultura, investigación o publicidad entre otras, dando oportunidad a la creación de nuevas empresas y miles de puestos de trabajo repartidos por todo el mundo.

La consultora “Frost & Sullivan” calcula que las exportaciones israelíes de drones, en el periodo 2006-2014 ascendieron a 4.600 millones de dólares, además de generar más de 3.000 puestos de trabajo directo.

No se debe caer en el error de suponer que esta tecnología solo está desarrollada por unos pocos países, desde un enfoque empresarial más global, la Asociación Internacional de Sistemas de Vehículos No Tripulados registra 2.100 miembros fabricantes, repartidos en más de 60 países que desarrollan esta tecnología de uso militar y civil. Obviamente no todos los fabricantes forman parte de esta asociación por lo que el número real es aún mayor. Aunque la cifra de países es bastante alta, en realidad la mayoría de estos carece de la capacidad y los medios para desarrollar este tipo de tecnología, producirla y comercializarla a una escala y con una complejidad relevante. “Frost & Sullivan” también estima que el volumen de mercado para estos vehículos ascenderá en todo el mundo a 61.000 millones de dólares para el periodo comprendido entre 2011-2020.

Este gran mercado cada vez más se puede asemejar al de la aviación tradicional de mitad del siglo XX donde se producía una gran demanda a pocos productores, siendo dichos productores líderes claros del mercado. Con el tiempo este tipo de industrias de alta tecnología tiende a consolidarse en torno a pocas empresas, mientras que las barreras de ingresos en este mercado aumentan significativamente (ver Unsam).

1.1.2 Historia española

En España estos vehículos no se empezaron a desarrollar hasta finales de los años 80, principios de los 90, especialmente por el Instituto Nacional de

Técnica Aeroespacial “INTA” localizado en las cercanías de Torrejón de Ardoz (Madrid). El primer dron que consiguieron hacer volar fue el Siva en modo manual y automático, en el año 2000, este dron ha estado en servicio como vehículo pilotado a distancia, a cargo de la observación en las prácticas de tiro del regimiento de artillería de León. También se conoce como Siva al centro de uno de los proyectos de investigación del programa SESAR “Single European Sky Research” siendo ésta una plataforma europea que investiga formas de mejorar el tráfico y seguridad aérea, la cual, busca la forma de integrar este tipo de vehículos en el espacio aéreo civil y militar.



Figura 3, Siva, primer vehículo no tripulado fabricado en España.

Además de este modelo, también existen otros para diferentes usos, como son el Diana que sirve como blanco aéreo para maniobras de artillería y prácticas de vuelo, puede volar a una velocidad de hasta 200m/s, esta aeronave ha marcado un hito para la aviación española puesto que es la primera que se ha vendido al ejército de otro país (Brasil). También el Milano, una aeronave destinada únicamente a la investigación, con notables capacidades de reconocimiento.

El ejército español además de los ya mencionados, utiliza drones comprados a otros fabricantes como son el Searcher MKII israelí, del que dispone de 4 unidades compradas en 2007, que acompañan en incursiones tácticas a las tropas españolas destinadas en Afganistán. En 2008 se compran 27 unidades del RQ-11 Raven al ejército estadounidense, estos aviones espía sirven para reforzar la seguridad de las tropas españolas desplazadas en El Líbano y Afganistán. Más recientemente en 2014 se compró el Scaneagle un dron de fabricación estadounidense cuya misión es la vigilancia marítima en zonas de piratería o la búsqueda de posibles embarcaciones dedicadas al tráfico de droga. Este vehículo necesita una preparación especial, por eso la Armada española creó su 11ª Escuadrilla dedicada en exclusiva al pilotaje de drones, en uno de sus proyectos 5 pilotos españoles son enviados a Estados Unidos para mejorar su pericia a los mandos de estos aparatos (ver Gizmodo).



Una de las últimas noticias que se han presentado fruto de las buenas relaciones institucionales con Estados Unidos ha sido la compra de 4 drones MQ-9 Reaper por 215,8 millones de euros, aeronaves de última generación con posibilidad de poder ser armadas con misiles teledirigidos, para misiones de seguridad interna, mantenimiento e imposición de la paz, contrainsurgencia y contraterrorismo.

En España también hay una industria civil alrededor de estas aeronaves que consta de alrededor de 20 empresas que producen drones y sobre unas 200 que venden componentes para estos aparatos. Entre todos ellos se encuentra Drones Rescue Spain “DRS” un grupo de profesionales y aficionados que ponen sus equipos a disposición de organismos oficiales o particulares, para diferentes labores.

Entre los avances obtenidos por empresas españolas se encuentran la obtenida en 2010 por Flightech Systems que logra obtener el primer Certificado de Aeronavegabilidad Experimental de Europa para el FT-ALTEA que con 6 metros de envergadura y un peso máximo al despegue de 80kg está equipado con numerosos sensores, cámaras térmicas de alta definición, además de un sistema de navegación autónomo que le permite volar tanto de día como de noche, también consta de sistemas que proporcionan un despegue y aterrizaje totalmente autónomos.

Aunque no todos los avances son producidos por empresas, en 2008 el equipo de investigadores de la Estación Biológica de Doñana pusieron en marcha el proyecto Aeromab, con el que pretendían aplicar tecnologías aeroespaciales a la conservación del medio ambiente, por aquella época la utilización de drones estaba exclusivamente limitada al ejército por lo que compraron una aeronave de aeromodelismo al que incorporaron sistemas de vuelo guiado, seguimiento remoto y la tecnología de visión en primera persona que permitía seguir desde un ordenador o unas gafas lo mismo que captaba el avión en cada instante (ver Aeromab).

En el año 2014 se inaugura en Villacarrillo (Jaén) el Centro de Vuelos Experimentales Atlas, siendo la primera instalación en España dedicada a experimentar con tecnologías y sistemas de aviones no tripulados, con el objetivo de ofrecer al mercado aeronáutico internacional una instalación de excelencia para ensayos y validaciones tecnológicas con aviones no tripulados. Ha contado con la inversión de 4,5 millones de euros por parte de la Junta de Andalucía (ver Atlascenter).

El año 2015 se celebró en Zaragoza la Primera Feria Internacional de Drones de uso civil en España, bajo el nombre de Expodronica, en la que se consiguieron reunir 70 expositores de los principales países productores. En



este año 2017 la feria va a por su tercera edición, siendo una feria más que consolidada en el calendario nacional, contando con los principales fabricantes de drones a nivel mundial.

En el sector español se calcula que para el 2017 las empresas relacionadas con este sector podrían llegar al millar, a la vez que se necesitarán más de 10.000 pilotos, lo que supone una gran oportunidad de trabajo en este nuevo sector.

1.2 Tipos de drones

1.2.1 Según su uso

Los drones se pueden clasificar en dos claras divisiones en función de su uso, como son los drones militares y los civiles.

Drones militares

Los vehículos no tripulados de combate aéreo (UCAV) o drones de combate, son un tipo de drones exclusivamente utilizado para aplicaciones militares.

No se debe caer en el error de pensar que todos los UCAV van equipados con armamento, puesto que como se vio en la historia anteriormente descrita, estos se utilizan además de para el ataque y defensa, para misiones de reconocimiento, seguridad de fuerzas terrestres, como blanco aéreo, entre otros, y por tanto cada aeronave irá equipada con una tecnología específica en función de su uso.

En la actualidad, existen más de 30 países que reconocen utilizar de manera asidua este tipo de tecnología.

Su éxito radica en la gran precisión que han sido capaces de desarrollar, el menor coste del habitáculo, al no tener que transportar a un piloto, pudiendo llevar más carga útil, además del hecho de no tener que lamentar la pérdida del piloto en caso de que la aeronave sea abatida. Por todo ello los ejércitos están desarrollando UCAV, que podrían reemplazar en corto o medio plazo a los aviones tripulados de combate aéreo.

Drones civiles

Los vehículos aéreos no tripulados, son aquellos que no se utilizan para fines militares, en la actualidad representan menos del 15% total del mercado, debido a la gran acogida que han tenido entre particulares y empresas, además de las múltiples aplicaciones y tecnologías que se están



desarrollando, se espera que en los próximos años, se igualen ambos tipos en producción.

Se debe diferenciar entre vehículos dedicados a un uso comercial, que por regla general suponen una notable inversión, ya que necesitan unas características acordes a las expectativas depositadas sobre ellos, y estas deben de ser capaces de dar un servicio profesional a empresas y autónomos, o los drones dedicados a los aficionados, la variedad de características existentes en el mercado hacen que por precios muy asequibles, se puedan conseguir estos dispositivos. En el mercado de las app existen varias aplicaciones destinadas al ocio, como el Drone Ace, que ofrece la posibilidad de grabar videos o capturar fotos con patrones de vuelos preprogramados o el Airdoog capaz de grabar al usuario mientras está realizando alguna actividad física o recreativa.

1.2.2 Según sus alas

Otra de las posibles clasificaciones de los VANT es en función de sus alas, distinguiendo así entre fijas y móviles o rotatorias.

Fijas

Poseen alas adosadas en los laterales de la aeronave, las cuales no poseen movimiento propio, son accionadas por motores a los que se les incorporan unas hélices situadas en un plano horizontal al suelo.

Móviles o rotóricas

Poseen hélices giratorias, generalmente suelen ser cuadricópteros (cuatro motores con hélice), situados en un eje vertical al suelo, los cuales giran dos motores siguiendo el sentido horario de las agujas del reloj y los otros dos en sentido antihorario, creando así la fuerza de empuje necesaria para mover al dron hacia arriba o hacia abajo. Estos pueden ser de 6, 8 o más hélices, teniendo la consideración de que cuente con un número par de rotores, para garantizar la estabilidad de la aeronave. Excepto en el caso de los helicópteros que basta con una hélice superior, que es la encargada de subir y bajar además del desplazamiento, y una inferior situada en la parte trasera, que es la encargada del movimiento giratorio

Dependiendo de las aplicaciones y de las prestaciones que se deseen, cada aeronave sirve para una cosa u otra, en la siguiente tabla se recogen algunas de sus características.

Tabla 1, características de varias naves.

Características	Helicópteros	Alas fijas	Dirigibles	Multirrotores
Capacidad de vuelo estacionario	3	0	4	3
Velocidad de desplazamiento	3	4	1	2
Maniobrabilidad	3	1	1	4
Autonomía de vuelo	2	3	4	2
Resistencia al viento	2	4	1	2
Estabilidad	1	3	4	2
Capacidad de vuelos verticales	4	1	2	4
Capacidad de carga	3	4	1	2
Capacidad de vuelos interiores	2	1	3	4
Techo de vuelo	2	4	3	1

0=nulo, 1=malo, 2=medio, 3=bueno, 4=muy bueno

Ventajas e inconvenientes de los sistemas de ala fija y ala móvil

Normalmente los RPAS destinados a un uso civil son multirrotores, esto se debe a que este tipo de aeronaves son muy adecuadas para la toma de imágenes y videos, en el sector audiovisual, que según las estimaciones de la Asociación Española de RPAS (AERPAS), constituyen alrededor del 90% de la actividad. Este dato no hay que centrarlo solamente en España, puesto que en los demás países europeos este porcentaje no difiere demasiado.

Las principales ventajas que se pueden obtener de la utilización de un multirrotores son las siguientes:

- El despegue y el aterrizaje se realizan en vertical, reduciendo el espacio en tierra para su operación, mientras que las aeronaves de reducida dimensión de ala fija necesitan catapultas mecánicas o humanas de lanzamiento y paracaídas para su aterrizaje.
- Posibilidad de volar en un punto fijo, es decir, mantenerse en una determinada posición en el aire sin moverse, o a una velocidad muy baja, resulta muy adecuado para aplicaciones de inspección o toma de imágenes y videos.
- Mayor precisión y maniobrabilidad del vuelo, los multirrotores tienen la capacidad de rotar sobre su eje o de maniobrar acercándose de manera crítica a un objetivo, pudiendo realizar casi cualquier movimiento facilitando la captación de imágenes, mientras que los de



ala fija siguen trayectorias curvilíneas, con radios de giro amplios, y con velocidades de ascenso y descenso bastante estrictas.

- Su diseño les permite transportar mayor carga de pago, en relación con su propio tamaño.

Las principales ventajas de las aeronaves de ala fija son las siguientes:

- Son mucho más eficientes que los multirrotores, lo que les permite a igualdad de tamaño, una mayor autonomía. La sustentación de las alas permite un menor gasto energético, prolongando así la duración de las baterías y por la tanto la duración del vuelo.
- Pueden adquirir mayor velocidad, lo que combinado con la mayor eficiencia se transmite en una mayor distancia a cubrir o un área mucho mayor.
- Tienen una huella sonora sensiblemente menor, por lo que son más difíciles de detectar acústicamente.
- Tienen una mayor resistencia a la temperatura, viento y lluvia.

Por las razones vistas anteriormente, se explica por qué los multirrotores copan el mercado civil, sin embargo a medida que la tecnología se desarrolle, se realicen aplicaciones a mayor altura y distancia y las leyes sean propicias para su utilización, los sistemas de ala fija aumentarán su número, al igual que pasa en el caso militar (ver Madrid).

1.2.3 Según el método de control

Solo existen 4 métodos de operación en cuanto a la forma de pilotar una aeronave de manera remota, a veces existen otros métodos, si bien son combinación de estas y no añaden ninguna nueva característica. También hay que considerar que el grado de automatización va en aumento conforme disminuye la dependencia de la aeronave con el piloto.

Modo manual

En este modo, el piloto remoto es el único responsable del movimiento de la aeronave, éste actúa sobre la emisora radiocontrol, añadiendo mayor o menor potencia a los motores, controlando los diferentes sensores y dispositivos o dirigiendo hacia el lado que desee el VANT, dentro del radio de radiofrecuencia. Los drones que operan con este modo suelen ser drones bajos de gama, generalmente su coste es reducido en comparación con el resto de modos.



Modo aislado

El funcionamiento es similar al modo manual, con la diferencia de que el piloto remoto no actúa sobre la potencia de los motores, ni dirige la dirección, sino que este indica sus intenciones de operación a un puesto de radiocontrol, para que actúe un autopiloto, que transforma las órdenes recibidas en actuaciones sobre las superficies de control de dirección y de potencia.

Modo automático

El plan de vuelo es establecido previamente por el piloto remoto, es decir, el piloto realiza un recorrido punto a punto previo al vuelo, por los que debe pasar la aeronave. El dron cuenta con un autopiloto que ejecuta paso a paso el plan previsto, realizando de forma automática las acciones requeridas en cada momento. Con la salvedad de que el operador tiene la posibilidad de tomar el control en todo momento, pudiendo modificar alguno de los puntos o todo el recorrido durante el vuelo, para poder efectuar maniobras concretas. Este modo permite al piloto remoto cambiar en cualquier instante a cualquier modo de los anteriormente citados.

Modo autónomo

Es parecido al modo anterior, a la hora de establecer un modelo predeterminado de vuelo, con la salvedad de que una vez iniciado el vuelo la aeronave realiza de forma autónoma todo el plan de vuelo, sin requerir la operación del piloto remoto, incluso si se produjera una situación de emergencia. Este modo es el que más ventajas ofrece, puesto que se está trabajando en la posibilidad de eliminar la opción de introducir una ruta predeterminada, así la aeronave podrá realizar una misión completa sin la ayuda de un piloto, esto se lograría a través de reconocimiento óptico o con la utilización de ultrasonidos, así se podría desplazar a un cierto punto, evitando los posibles obstáculos que se pudiera encontrar (ver Madrid).

En general un RPAS puede funcionar únicamente en uno de los tres primeros métodos de control, estando restringido el último a situaciones muy concretas como la vuelta a casa o la pérdida de comunicación entre el radioreceptor y la aeronave.

Los dos primeros modos, requieren que la aeronave siempre se encuentre visible por el piloto, o que a través de la cámara mande la suficiente información para que el piloto sepa en cada momento las condiciones en las que está volando, para poder tomar las decisiones adecuadas.

En actividades civiles, aeronaves de ala fija suelen operarse en modo manual o aislado, mientras que los multirrotores, se suelen operar en modo manual o automático, esto es debido a los mayores problemas de equilibrio y de ejecución de las maniobras realizadas por el piloto que se tiene en las naves de ala fija.

La principal ventaja que se puede obtener con la utilización del modo automático es la posibilidad de utilizar pilotos de menor capacidad y por tanto, de reducir el coste de operación, sin embargo se incrementaría el precio de la aeronave, pues habría que dotarla de sistemas más costosos (ver Madrid).

1.3 Partes de un dron

1.3.1 Marco (frames)

Esqueleto del multirrotor. Es la estructura que le da forma, en ella se instalan y aseguran los demás sensores y elementos. Generalmente esta estructura está fabricada con aleaciones metálicas para disminuir su peso, aunque dependiendo del modelo se puede encontrar fabricado en plástico o fibras de vidrio. Entre sus características principales debe estar la robustez y la flexibilidad, para intentar conseguir una mayor resistencia a los golpes o al viento, sin descuidar la ligereza del marco.



Figura 4, marco.

1.3.2 Batería

Es la encargada de aportar la energía necesaria al sistema para su funcionamiento. Las baterías más usadas son las de litio (Lipo) puesto que ofrecen una excelente relación entre capacidad, peso, volumen y tensión. Estas ofrecen una serie de características que hay que tener en cuenta, como son:



Tensión nominal o celdas: las baterías de Lipo están formadas por celdas de 3.7v. En radio control se suelen utilizar baterías desde 1 celda hasta 8 aunque pueden ser más, en función del modelo en el que van a ser instaladas.

Las celdas están instaladas en serie puesto que así se suman las tensiones de todas ellas, identificándose con la letra S. Por lo tanto una batería 5S, nos indica que consta de 5 celdas conectadas en serie, la cual produce una tensión nominal de 18,5v ($5 \text{ elementos} * 3.7\text{v} = 18,5\text{v}$) se debe tener en cuenta esta tensión puesto que la placa controladora instalada en el dron tendrá unas especificaciones máximas y mínimas, por lo tanto una sobretensión o una subtensión podrían dañar el variador.

Esta tensión es importante puesto que los motores instalados en el dron giran con una cantidad determinada de revoluciones por minuto en función de la tensión que produce la batería. En las especificaciones de los motores aparece un número medido en kilovatios (KW), si se multiplica dicho número por la tensión, se obtiene el número de revoluciones por minuto que es capaz de realizar el motor.

Capacidad de una batería de Lipo: Las baterías se conectan unas con otras en paralelo, por lo que la capacidad total es la suma de las capacidades individuales, es decir si se conectan 3 baterías en serie de 2.000mAh se obtienen 6.000mAh ($3\text{baterías} * 2.000\text{mAh} = 6.000\text{mAh}$).

Aunque no hay que caer en el error de pensar que cuanto más capacidad más autonomía, puesto que también influyen otras variables como son el peso, la eficiencia de motores... Si se añaden baterías en serie el peso también aumentará disminuyendo el tiempo de vuelo.

Por internet se encuentran diferentes simuladores como el que se puede ver en <http://www.ecalc.ch/> que proporciona estimaciones de vuelo dependiendo de la capacidad de carga.

Descarga de una batería Lipo: los motores tienen un consumo en función de la potencia que desarrollan, por tanto se tiene que tener en cuenta la intensidad de descarga especificada por el fabricante de la batería. Esta viene detallada por una referencia de descarga máxima que consta de un número seguido de la letra "C" donde C es la intensidad de la batería. Para saber la intensidad de descarga basta con multiplicar los miliamperios por el número de delante de la C. Siguiendo con el ejemplo, si la batería tiene una capacidad de 6.000mAh y el fabricante especifica que la referencia de descarga máxima es 25C, la descarga máxima a la que se puede someter esta batería es 150Ah ($6.000 * 25 = 150.000\text{mAh}$) es decir, se puede montar un modelo

inferior a 135Ah puesto que es bueno dejar un margen de un 10% por si se produce algún fallo inesperado.

Si en la referencia de descarga de la batería el fabricante indica dos valores, el menor indica que puede descargar a esa intensidad de una manera prolongada, mientras que el mayor indica que puede descargar a esta intensidad por un tiempo limitado. El trabajar con intensidades superiores a las indicadas por el fabricante puede producir daños en la batería y hará que esta sea inestable.

Carga de una batería de Lipo: estas baterías son cargadas por energía eléctrica, utilizan un cargador específico, por lo tanto es aconsejable utilizar cargadores recomendados por el fabricante, además de no cargar las baterías por encima de su intensidad nominal. Las baterías de dos o más celdas constan de 2 cables uno de ellos con un conector balanceador que se utiliza para la hora de la carga. Los cargadores de las baterías Lipo tienen unas entradas en las que se inserta el conector balanceador para que todos los elementos que forman las baterías se carguen con la misma tensión e intensidad, si no se utiliza este elemento hay muchas posibilidades de que las baterías se carguen de manera distinta suponiendo a la hora de la descarga que unos elementos se descarguen más rápidos que otros y se estropeen (ver Blogturbohobby).



Figura 5, batería.

1.3.3 Motores y Hélices

Son los componentes fundamentales para mantener el multirrotor en el aire.

El motor es la parte de la máquina capaz de hacer funcionar al sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, combustibles...) en energía mecánica, capaz de realizar una fuerza que produce el movimiento. Los motores utilizados en las pequeñas aeronaves son motores brushless, los cuales son motores eléctricos de corriente continua con polos salientes en el

estator y un rotor en el que se sitúa el devanado del inducido. Tiene conexiones al colector de delgas que es donde se produce la conmutación de las corrientes de las bobinas de inducido, lo que origina un chisporroteo en el colector de delgas que producen no solo un desgaste en el mismo, sino que provoca la emisión de radiaciones electromagnéticas.

Este efecto, generalmente, no tiene importancia en muchos ambientes industriales, pero si cuando el motor está cerca de emisoras de radio, como es el caso, de las aplicaciones aéreas, en las que pueden coexistir muy cercanos el centro de comunicaciones aire-tierra de la aeronave y de los motores de corriente continua con regulación de servomecanismos de a bordo, por lo que se pueden producir interferencias en las señales de telecomunicación, dificultándose la recepción desde tierra. Debido a las buenas características de regulación de velocidad de un motor de c.c. que eran necesarias en estas aplicaciones, es por lo que se desarrolló el motor de c.c. sin escobillas.

Este tipo de motores, como se muestra en la figura 6, tiene una disposición inversa a la clásica, es decir, el inductor está en el rotor y no tiene devanados polares para evitar el uso de anillos deslizantes para la excitación de los mismos, sino que los polos están formados por imanes permanentes y con una estructura de polos cilíndricos o lisos. El inducido está en el estator, por lo que la maquina no tiene colector de delgas y las comunicaciones de corriente en las bobinas del inducido se realizan con la ayuda de interruptores electrónicos.

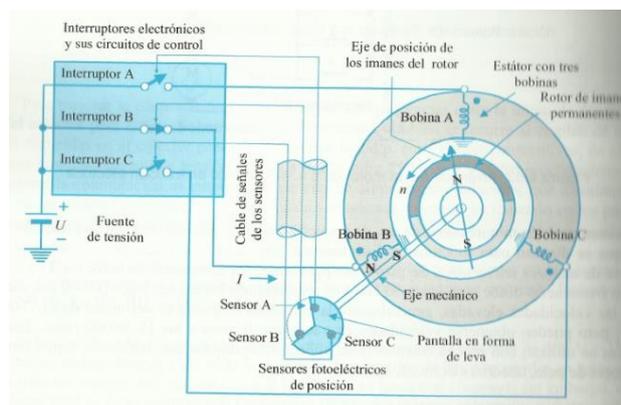


Figura 6, esquema motor brushless.

Debe tenerse en cuenta que en un motor clásico el número de bobinas y por tanto el de delgas es elevado, por lo que se produce un gran número de conmutaciones en cada vuelta del rotor. Si se emplearan muchas bobinas en los motores brushless, se requerirían muchos transistores (que son los interruptores electrónicos encargados de las operaciones de conmutación). Es por ello que para simplificar estos motores y reducir el coste del equipo de



control que da las ordenes de cierre y apertura a los interruptores, el número de bobinas se limita a tres y de este modo, solamente se requieren tres interruptores electrónicos y una alimentación de corriente continua (lo que sería equivalente a un motor de c.c. convencional con escobillas y con tres delgas den el conmutador).

Hay que destacar, además, que el elemento más peculiar que tiene el motor sin escobillas, es el sistema de detección de la posición del rotor y que utiliza unos sensores específicos para que las conmutaciones electrónicas se realicen justo en el momento preciso (operación que en los motores convencionales se realiza de forma automática mediante las delgas del conmutador). Estos sensores pueden ser de tipo fotoeléctrico o de tipo magnético (efecto Hall).

En el caso de la figura anterior se ha considerado, para mayor claridad, que los sensores son fotoeléctricos y que hay un total de tres (A, B, C), cubriendo cada uno de ellos un rango de funcionamiento de 120° . Estos sensores luminosos están situados en la parte delantera de una pantalla opaca en forma de leva que tiene una abertura de 120° . La luz de activación viene de la parte de atrás de la leva. En la posición indicada, en el eje del rotor (alimentación de sus polos norte-sur, que suponiendo que se mueve en el sentido contrario a las agujas del reloj), acaba de dejar la posición vertical cuando estaba alineado previamente con el eje de la bobina A. el motor funciona del modo siguiente:

- Desde que el eje del motor se separa de la posición vertical, se activa el sensor óptico B porque recibe la luz desde la parte de atrás de la pantalla luminosa en forma de leva. Los sensores A y C (que están a $\pm 210^\circ$ respecto al anterior) están inactivos porque no reciben luz.
- El sensor B manda cerrar el interruptor electrónico B, haciendo que circule una corriente continua I por la bobina B, de manera que se producen en esta unos polos Norte-Sur tal y como se señalan en la figura 6, de este modo, interaccionan con los imanes del rotor haciendo que su eje se oriente con el correspondiente de la bobina B.
- Este movimiento del rotor hace que a la vez gire la pantalla en forma de leva, provocando el apagado del sensor B (al dejar de recibir luz) y active al sensor óptico C, lo que provoca a su vez el cierre del interruptor C, que da alimentación a la bobina C y así, sucesivamente. En definitiva, la acción de los sensores ópticos (o magnéticos en su caso) es para activar durante un rango angular de 120° el interruptor electrónico correspondiente, para alimentar a las bobinas del estator de un modo secuencial y conseguir, de este modo, un giro continuo del eje.

Debido a que los transistores con los que se implementan los interruptores electrónicos funcionan durante una tercera parte de revolución, las pérdidas de potencia en los mismos son reducidas.

Estos motores no necesitan prácticamente mantenimiento. Debido a la ausencia del colector de delgas no tienen chisporroteos, por lo que se eliminan los riesgos de explosión o la emisión de radiaciones electromagnéticas. Pueden trabajar incluso sumergidos en líquidos ya que se les puede sellar de forma hermética, lo que los hace idóneos para ser utilizados en VANT, que se utilicen en condiciones climatológicas adversas y en ROV, que se operan debajo del agua.

Se fabrican para potencias inferiores a 1kW y pueden girar a velocidades muy elevadas (Pueden llegar a las 20.000r/min) y que dependen del ritmo de conmutación de los interruptores electrónicos empleados. El control de la corriente que circula por las bobinas y el ritmo de conmutación de los interruptores determinan la curva par-velocidad de estos motores, que es similar a los motores clásicos de c.c. tipo derivación (Fraile Mora, 2015).

Una de las características más importantes que los motores brushless deben cumplir, es la disminución del tamaño y por lo tanto de su peso, sin disminuir la potencia que es capaz de transmitir a las hélices.



Figura 7, motor brushless.

Mientras que las hélices son un conjunto de aletas helicoidales que al girar alrededor de un eje accionado por un motor, produce una fuerza de reacción que se utiliza para la propulsión del drone, garantizando su sustentación. Además pueden cubrirse por protecciones que aportan una mayor rigidez y alargan de forma notable la vida útil de las hélices y en definitiva de todo el sistema, puesto que amortiguan los posibles golpes que la aeronave pudiera sufrir.

Encontrar la relación perfecta entre el peso de la aeronave, los motores, la batería y las hélices es todo un misterio, teniendo un papel muy relevante la capacidad económica que se tenga para probar las combinaciones posibles.



Figura 8, hélices.

1.3.4 Radio receptor (mando)

Es el responsable de recibir la señal de radio enviada por el control remoto, mediante el cual el usuario realiza el movimiento que desea y este lo transforma en una onda esférica que es recibida por el radio receptor del multirroto transformándola en datos que se envían al controlador de vuelo, para que ejecute la instrucción. Una instrucción de movimiento realiza cambios coordinados en la velocidad de los rotores. De esta manera si el usuario da la orden de ir hacia delante los motores traseros giraran a una velocidad mayor, haciendo que el aparato realice la acción. Por tanto siempre que se quiera realizar un desplazamiento hacia cualquier dirección, serán los motores del sentido contrario los que giren a una mayor velocidad (ver Droningpage).



Figura 9, mando.

1.4 Sistemas de ayuda al vuelo

1.4.1 Failsafe

Función que tienen la mayoría de los sistemas de piloto automático que sirve para aterrizar la aeronave con seguridad. Consta de una serie de acciones que se activan una vez que un determinado evento salta en el radio receptor. Uno de los fallos más comunes es la pérdida de señal de radio con la emisora, aunque también puede deberse a que la batería está por debajo del nivel crítico (nivel necesario de carga para la vuelta a casa), entonces el dron iniciará una vuelta a casa autónoma, aunque también existe la opción de que el aparato quede dando vueltas a la vez que reduce su altura hasta caer con la batería agotada.

La vuelta a casa se hace a una altura previamente determinada en la configuración del mismo, por lo que hay que tener cuidado a la hora de calcular la altura superior del mayor obstáculo que se puede encontrar el aparato durante el vuelo.

Algunas controladoras de vuelo incorporan este sistema de serie, siendo relativamente sencilla su programación (ver Dronecasero).



Figura 10, failsafe independiente a la controladora de vuelo.

1.4.2 Sistema de Posicionamiento Global “GPS”

Dispositivo encargado de transmitir información sobre la posición en el planeta a la controladora de vuelo. Dicha conexión se realiza mediante un protocolo de comunicación serie estandarizado conocido como NMEA “National Marine Electronics Association” (ver Vueloartificial). La característica principal que este sistema debe tener es la precisión, puesto que es muy importante saber dónde está situado exactamente el dron con un margen de error minúsculo. Dicha precisión se obtiene en todo el planeta por una red de 24 satélites en órbita a 20.200km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie terrestre. Cuando se desea determinar la posición, el receptor localiza como mínimo cuatro satélites de la red, de los

que recibe unas señales que están compuestas por la hora y la identificación de cada uno de ellas. Con estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, de este modo se mide la distancia al satélite, utilizando el método de trilateración inversa, pudiendo conocer en cada instante la posición exacta con una pequeña tolerancia. Además de la posición este dispositivo también es capaz de calcular la velocidad del aparato en cada instante, calculando la distancia recorrida en un tiempo establecido.

A partir de la altura, posición y velocidad, dependiendo del programa que tenga el controlador, se podrá automatizar el comportamiento del multirrotor para mantenerse estático en mismo punto, volar en una cierta dirección o velocidad relativa o desplazarse hacia unos puntos predefinidos previamente por el piloto.

Además los dispositivos GPS tienen un gran problema en la aplicación de visores de realidad virtual, puesto que los pilotos deben conocer la ubicación del dron y hacia donde se está orientado en el mundo real (ver Gps).



Figura 11, ubicación GPS.

1.4.3 Visión en primera persona “visores de realidad virtual o FPV”

Sistema de transmisión y recepción de video capturado por una o varias cámaras, en tiempo real. De esta manera el piloto, o cualquier otro usuario pueden ver en tiempo real la imagen que están captando las cámaras, instaladas en el dron. Este sistema es de mucha utilidad, sirviendo sobre todo para vuelos seguros a gran altura o distancia y para capturar mejores tomas durante el vuelo.



Figura 12, visión en primera persona.

1.4.4 Magnetómetro

Dispositivo que mide la fuerza o dirección una señal magnética. En este tipo de aeronaves es conveniente montar un magnetómetro independiente a la controladora de vuelo lo más alejado posible de la batería, cables de distribución y los controladores de velocidad electrónicos, causantes de interferencias, puesto que la corriente continua que circula por los cables de distribución puede generar un pequeño campo magnético que cause interferencias en los resultados obtenidos. El dispositivo usa el campo magnético de la tierra junto con toda la información de declinación para saber dónde está el norte. Una manera muy práctica de solucionar este error consiste en montar el dispositivo en una posición elevada o lo más alejado posible de cualquier elemento metálico o por el que circule corriente, por ejemplo en los extremos del marco, así se garantiza una menor incidencia de los campos magnéticos (ver Vueloartificial).



Figura 13, magnetómetro.

1.4.5 Controlador de vuelo/ placa controladora

Componente principal de un dron. Dispositivo que compara y registra todo lo que sucede en el multirrotor, en él se conectan gran parte de los sensores y componentes, además de disponer de unas características propias. Por tanto, este dispositivo consigue la suficiente información del medio, para poder

tomar decisiones correctas sobre los actuadores, que hacen posible el vuelo. Este controlador debe ser capaz de captar y realizar tareas en el menor tiempo posible, además de incorporar un procesador de emergencia, para poder conseguir un aterrizaje seguro en caso de que el controlador principal falle. También debe tener una buena tolerancia entre faltas de tensión en alguna entrada. Es uno de los componentes más caros de la aeronave, puesto que un buen controlador, puede funcionar de manera autónoma sin que un piloto lo controle (ver Vueloartificial).

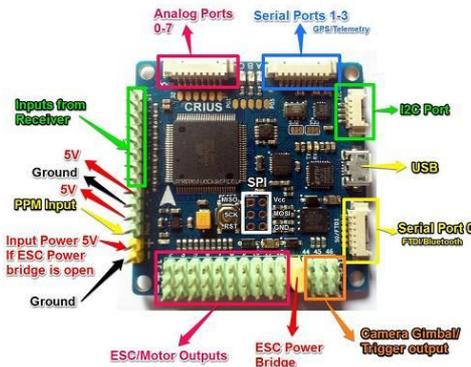


Figura 14, placa controladora.

1.4.6 Energía de consumo

Se pueden realizar algunas diferenciaciones entre los drones según la energía que necesitan para su funcionamiento, como son:

Eléctrica

Es la energía más utilizada en estas aeronaves, su almacenamiento consta de una serie de baterías que se cargan en tierra enchufándolas a la corriente eléctrica. Este tipo de energía tiene las siguientes ventajas. Los motores eléctricos son más silenciosos y tiene un registro de calor mucho menor que los motores de reacción, aunque a diferencia de estos, los motores eléctricos tienen el gran inconveniente de que las baterías son mucho menos eficientes en el almacenamiento de energía, limitando el tiempo de vuelo a tan sólo unas cuantas horas si hablamos de aeronaves militares, mientras que a pocos minutos si hablamos de las civiles.

Queroseno, Gasolinas y Gasóleos

Son los combustibles más utilizados en aviación, puesto que alimentan a la totalidad de las aeronaves pilotadas, su poder calorífico y su combustión, los hacen idóneos para aplicaciones donde se requiera permanecer en el aire durante largos periodos de tiempo.



Desde hace tiempo se viene demostrando que las energías renovables son aplicables a numerosos ámbitos. El mundo de la aviación se ha unido recientemente en la búsqueda de aeronaves capaces de alimentarse por energía solar.

Los aviones solares permiten ahorrar energía y cuidar el entorno, ya que son totalmente autónomos.

Hidrógeno líquido

La continua búsqueda de fuentes energéticas alternativas a las convencionales, ha llevado a la Armada de EE.UU a desarrollar el Ion Tiger, el cual cuenta con un tanque criogénico para el combustible de hidrogeno líquido que alimenta sus células de combustible.

El hidrogeno líquido junto con la tecnología de combustible en celdas, tienen el potencial de ampliar la utilidad de las pequeñas naves no tripuladas, aumentando enormemente la duración de vuelo, al mismo tiempo que mantiene todas las ventajas de la propulsión eléctrica (ver Fierasingiería).

1.4.7 Controlador de velocidad (tubo de pitot)

Existen dos tipos de controladores de velocidad dependiendo de la aeronave en la que van a ser instalados.

Si se quiere equipar a un multirroto, los controladores de velocidad electrónicos (ESC) son los encargados de regular la potencia eléctrica para lograr controlar el giro de los motores con la mayor agilidad y eficiencia posible. Las características más significativas son su tensión de entrada máxima, se recuerda que para un 5S se obtenía una tensión de 18,5v (valor nominal) y su intensidad máxima, teniendo en cuenta que para multirrotores las intensidades normales están en el intervalo de 25 a 40 amperios mientras que para drones de ala fija la intensidad varía de 10 a 100 amperios aunque estos valores dependen de los motores que lleven instalados y del tamaño de la aeronave.

Sin embargo si se pretende equipar de un controlador de velocidad a un dron de alas fijas, el tubo de pitot es el instrumento de medida que se utiliza para calcular la velocidad de las aeronaves respecto al aire, o sea mide la velocidad relativa entre el avión y el aire, dicha velocidad es la que mantiene el avión en vuelo. Este instrumento se debe diferenciar del GPS, puesto que este aparato muestra la velocidad absoluta de la aeronave, o lo que es lo mismo la velocidad de la aeronave respecto del suelo.

La velocidad relativa del dron respecto del aire depende de la velocidad de la aeronave respecto del suelo y la velocidad del aire. Si el VANT se mueve con el viento en contra, las velocidades se restan, mientras que si lo hacen con viento de cola, las velocidades se suman. Para la utilización del tubo de pitot se debe tener en cuenta que la presión disminuye con la altura, debido a que la cantidad de aire es menor a medida que aumenta la altura de la atmosfera.

El funcionamiento del tubo de pitot se basa en la ecuación de Bernoulli.

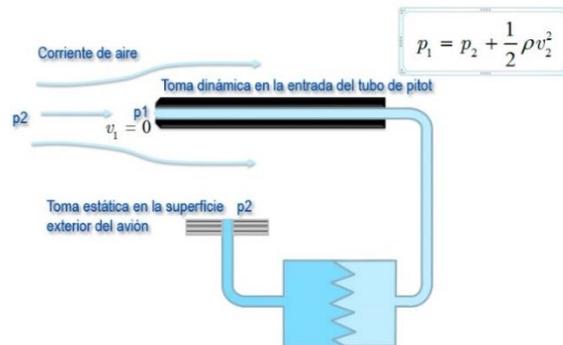


Figura 15, esquema tubo de pitot.

El tubo de pitot mide la velocidad midiendo la diferencia de presión entre el punto 1 y el 2. Por el punto 1 penetra el aire impulsado por la velocidad del avión (velocidad relativa), generalmente se encuentra situado en las posiciones delanteras de la nave, puesto que en esta situación está a salvo de posibles turbulencias, mientras que el punto 2 se encuentra a presión atmosférica, generalmente se encuentra situado en un lateral de la nave. Ambas presiones coinciden en una cámara, donde se mide la diferencia de presión, pudiendo así calcular de una manera sencilla la velocidad de la aeronave.

Además este sistema lleva incorporados sistemas de calefacción para evitar que se congelen los componentes y se obstruya la toma dinámica, este problema suele aparecer cuando se vuela a alturas mayores de 9.000 metros, donde la temperatura de las capas atmosféricas es menor (ver Abcienciade).



Figura 16, controlador de velocidad.



1.4.8 Brújula magnética

Instrumento que permite conocer la dirección del vuelo que se está realizando, consta de mucha utilidad en el vuelo preprogramado.

Su funcionamiento se basa en el magnetismo terrestre, por lo que la aguja señala al norte magnético. Este tipo de brújula se puede ver afectada por el campo magnético creado por la corriente continua consumida por los demás instrumentos del dron. En los drones más sofisticados se utiliza una brújula giroscópica, puesto que está orientada al norte geográfico usando un juego de discos o anillos que giran muy rápido, movidos electrónicamente, por fuerzas de fricción para aprovechar la rotación de la tierra. Este instrumento proporciona un mejor funcionamiento cuando se ve afectado por el campo magnético generado por corriente continua. Aunque ambas brújulas tienen un mal funcionamiento cuando influyen sobre ellas condiciones adversas climatológicas, como las tormentas solares, en cuyo caso la brújula no puede detectar la posición del dron y puede causar la pérdida de control, teniendo que pasar rápidamente a un modo manual para aterrizar la aeronave (ver Scribd).

1.4.9 Barómetro/ Altímetro

El barómetro es el instrumento que mide la presión atmosférica. La presión atmosférica se calcula como el peso por unidad de superficie ejercida por la atmosfera.

Un altímetro es un instrumento de medición que indica la diferencia de altitud entre el punto en el que se encuentra localizado y un punto de referencia, generalmente se utiliza la altura sobre el nivel del mar.

Con la combinación de ambos instrumentos se obtiene el altímetro barométrico, cuyo funcionamiento está basado en la relación entre presión y altitud, se debe considerar que la presión atmosférica desciende con la altitud. De igual modo que el altímetro toma referencia en un punto situado al nivel del mar.

El altímetro barométrico mide los cambios de volumen que experimenta un gas encerrado a una presión conocida en una capsula cerrada. La presión obtenida es comparada con las diferentes medidas de altitud, pudiéndose obtener la altura a la que se encuentra la aeronave.

En algunos VANT de usos más específicos, se pueden instalar altímetros radioeléctricos o de impulsos, su funcionamiento es similar al de un radar, midiendo la distancia entre dos vehículos aéreos y con respecto al suelo.

La diferencia con el altímetro barométrico se basa en que los radioeléctricos miden la distancia mediante la emisión de pulsos electromagnéticos y el registro del tiempo transcurrido desde la emisión del pulso y la posterior recepción del eco de la señal. Como las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz, el cálculo de la distancia es más sencillo, aunque hay que tener en cuenta que la distancia se encuentra a dos veces el tiempo, la onda recorre el camino de ida y el de vuelta (ver Pceiberica).



Figura 17, altímetro.

1.4.10 Giroscopio

Aparato en el cual una masa gira velozmente alrededor de su eje de simetría, permitiendo mantener de forma constante su orientación respecto a un sistema de ejes de referencia. Cualquier cuerpo sometido a un movimiento de rotación acusa propiedades giroscópicas, como son rigidez en el espacio y la precisión.

La rigidez en el espacio se explica con la primera ley del movimiento de Newton, que dice “un cuerpo permanecerá en reposo o con movimiento uniforme rectilíneo, salvo que se le aplique una fuerza externa”. Esta propiedad se puede ver de una manera más descriptiva si se hace girar una peonza, la fuerza de inercia que genera la hace girar erguida, incluso si la superficie se inclina, ofreciendo una gran resistencia a los intentos de volcarla.

La propiedad de precisión es la respuesta objeto cuando se le aplica una fuerza deflectiva en algún borde, desplazándose 90° en el sentido de giro del objeto. La precisión es inversamente proporcional a la velocidad de giro (a mayor velocidad menor precisión) y directamente proporcional a la cantidad de fuerza de deflexión aplicada (a mayor fuerza mayor precisión).

Se debe tener en consideración que el elemento giratorio este construido con un material pesado, de tal manera que su masa esté repartida de forma uniforme y que sea capa de rotar con la mínima resistencia por fricción posible.



La masa se sitúa sobre un sistema de ejes que confieren al giroscopio distintos grados de libertad.

Debido a sus cualidades, los giroscopios proporcionan unos planos fijos de referencia, estos planos de referencia no deben variar aunque cambie la posición del dron, por lo tanto proporciona en cada momento la información necesaria para estabilizar la aeronave.

Este sistema solo es utilizado por debajo de 9.000 metros y con temperaturas superiores a 35°C, por lo que deben ir equipados con sistemas de calefacción, al igual que ocurría con controladores de velocidad, por lo que los drones que vuelen por encima de esta altitud son equipados con giroscopios eléctricos más costosos que los convencionales (ver Manual de vuelo).

1.4.11 Estabilizador de vuelo

Dispositivo capaz de testar todos los datos procedentes del barómetro, giroscopio y acelerómetro, permitiendo realizar las operaciones pertinentes para garantizar un vuelo más seguro y estable, compensando el viento lateral, posibles turbulencias y garantizando volar hacia el punto deseado.

Este dispositivo es empleado en aeronaves civiles y en multirrotores, mientras que para aeronaves militares y de ala fija existen otros dispositivos más sofisticados.

Al igual que las aeronaves tripuladas, algunos vehículos aéreos no tripulados tienen integrados estabilizadores móviles que varían la incidencia del estabilizador, independientemente del movimiento realizado por el radioreceptor o por el vuelo preprogramado. El movimiento angular de estas superficies suele ser inferior a 10 grados.

Dependiendo del movimiento realizado se pueden diferenciar 3 tipos de estabilizadores.

- Horizontal

Es un ala pequeña que se sitúa en la cola del VANT. Existen casos en las aeronaves militares en el que las alas fijas se sitúan por delante del ala, en estos casos se dice que está en disposición canard. Se divide en una parte fija delantera, denominada plano fijo horizontal y una parte móvil situada en la parte trasera.



- Vertical

Está situado en la cola del VANT de igual forma que el horizontal, se divide en parte móvil y plano fijo vertical. Dependiendo de las colas utilizadas en los diseños, varían los diferentes estabilizadores. La disposición cruciforme es habitual en aeronaves turbohélice.

- Rotórico

Está situado en la cola de los grandes VANT militares, donde una hélice rota alrededor de un eje, dotando a la aeronave de una gran estabilidad de vuelo incluso con velocidades de viento relativamente grandes (ver Ancorama).

1.4.12 Radar

Sistema que realiza la imagen de un objeto a través del eco recibido de una onda de radio previamente emitida. Al montar este equipo en un VANT se consigue proyectar hacia una dirección las ondas salientes, en vez de hacer barridos mecánicos con un haz de seguimiento fijo. Esto permite dos cosas al mismo tiempo, escanear el cielo en busca de objetos o amenazas que afecten a su funcionamiento o seguir a objetos específicos con mucha más precisión.

Para dirigir las ondas de radio emitidas se necesitan cambiadores de fase, lo que supone un encarecimiento del radar y un aumento considerable de tamaño y peso, produciendo algunas limitaciones físicas. Por lo que en busca de una solución a este problema la empresa Echodyne, ha introducido en el mercado un nuevo radar realizado con materiales, con los que se forman una serie de estructuras repetidas más pequeñas que la longitud de onda de radiación electromagnética que se está manipulando. Estos materiales se fabrican grabando patrones repetidos de cables de cobre sobre una placa de circuitos. Por lo que se obtiene una placa con múltiples capas de cableado que puede dirigir los haces del radar, cambiando la tensión aplicada, como lo haría un cambiador de fase.

Sin embargo si lo que se desea es medir la velocidad de un objeto, se debe montar un radar convencional, que utiliza el efecto Doppler los ecos de retorno de blancos para medir su velocidad radial, dicho de otra manera, la señal es una microonda que es enviada por el haz direccional situado en una antena, esta se refleja en un cuerpo recibándose de nuevo por el radar, una vez enviada y recepcionada se comparan las frecuencias permitiendo mediciones directas, altamente seguras de las velocidades de sus blancos, en la dirección del haz (ver technologyreview).



1.4.13 Acelerómetro

Instrumento destinado a medir aceleraciones. El más utilizado en los VANT por su disminución de peso y volumen, es el acelerómetro piezoeléctrico por compresión.

El funcionamiento de este acelerómetro se basa en la compresión de un retículo cristalino piezoeléctrico, produciendo este a su vez una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Los elementos piezoeléctricos se comprimen por un muelle en el interior de una caja metálica, por lo que al producirse una vibración, se produce sobre el piezoeléctrico una fuerza variable, proporcional a la aceleración de la masa, dicha aceleración se puede registrar con un software instalado en la unidad receptora de señal. Con ello se pueden obtener mediciones de desplazamientos o velocidad, además de la determinación de formas de onda y frecuencia.

La principal ventaja de este tipo de transductor es que se puede hacer tan pequeño que su influencia sea despreciable sobre el dispositivo instalado.

Los acelerómetros electrónicos permiten medir la aceleración en una, dos o tres dimensiones, lo que permite medir la inclinación de un cuerpo, puesto que es posible determinar la componente de la aceleración provocada por la gravedad que actúa sobre el cuerpo. Además es posible determinar la posición de un cuerpo, puesto que como se conoce la aceleración, es posible determinar su posición, si previamente se conocen la velocidad y la posición inicial del VANT (ver Onubaelectronica).



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



2.- Sensores a bordo de los drones

2.1 De Imagen

Una imagen es una representación visual, que manifiesta la apariencia de un objeto real o imaginario.

Las imágenes objeto de estudio van a ser las creadas por dispositivos capaces de capturar imágenes estáticas o en movimiento conocidas como cámaras de fotografías o de video. Con ellas se busca la obtención de lo que se está produciendo, aunque a veces se necesite una base de conocimientos para poder observar lo que se quiere.

Por tanto la selección de la cámara va a servir de ayuda para captar con éxito una instantánea que ayude a la toma de decisiones. En la última década, el mercado fotográfico ha experimentado una gran evolución apareciendo en el mercado todo tipo de cámaras, desde las cámaras deportivas con un tamaño reducido y unas prestaciones ópticas muy aceptables hasta complejas y sofisticadas cámaras réflex, pasando por cámaras térmicas o infrarrojas y multiespectrales, al mismo tiempo que el costo unitario se ha visto reducido considerablemente.

Elegir una cámara adecuada con unas cualidades óptimas de resolución, velocidad de disparo, zoom, entre otros, es una tarea, donde juega un papel muy importante el vehículo donde se instalará y su finalidad. Con todo ello se tendrá que tener en cuenta, la carga de pago máxima, la autonomía, el consumo energético, y el sistema de estabilización. Habrá pues que buscar una situación aceptable entre las características de la cámara, su tamaño, peso y precio.

La altura de vuelo o distancia al objeto, está condicionada por la actividad que se desea desarrollar, el nivel de detalle que sea necesario para captar todos los detalles, tomando en consideración la resolución y la focal del objetivo. Por ello hay que tener en cuenta el ground sample distance (GSD) que es la huella o el tamaño del pixel proyectado sobre el terreno. También se suele dar como la distancia entre los centros de dos píxeles vecinos en una imagen aérea medidos en planta (ver DronesUV3).

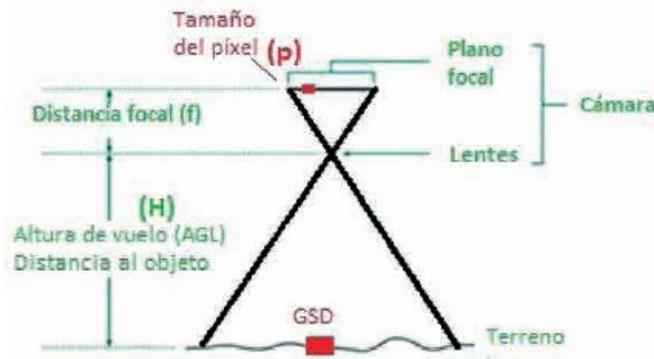


Figura 18, relación entre el GSD y la altura de vuelo.

A grandes rasgos una cámara debe reunir las siguientes características:

- Ligereza: cuanto más ligera, menor consumo energético y mayor capacidad de movimiento.
- Robustez: para soportar los aterrizajes y despegues además de posibles golpes.
- Lentes intercambiables: debe posibilitar cambiar la lente en función de la distancia de operación. Contar con una única lente limitaría la capacidad de operación. Esta característica es importante para cámaras térmicas y para las cámaras espectrales, puesto que la altura del VANT es función de la superficie a capturar.
- Imagen y video: deben permitir tomar fotos y realizar un video indistintamente.
- Software de análisis: para analizar radiométricamente el trabajo realizado.

2.1.1 En función de su resolución espacial

La resolución de una imagen indica la cantidad de detalle con la que puede observarse. Esta se mide en píxeles por pulgada (ppp) es decir, cuántos puntos se tiene en una pulgada (ver Prezi).

La resolución que tiene una cámara digital viene determinada por los píxeles de ancho x alto a los que es capaz de obtener una imagen. Así una cámara capaz de obtener una imagen de 1.366x768 píxeles tiene una resolución de $1.366 \times 768 = 1.049.088$ píxeles por pulgada, es decir 1.04 megapíxeles por pulgada.

Alta resolución

Cuando se habla de resoluciones HD (alta definición), 4K (4096 x 2160 o 8,8 megapíxeles), se refiere a resoluciones mayores de 300 ppi.

Estándar o baja resolución

Cuando se habla de baja resolución, se refiere a resoluciones menores de 100 ppi.

Si se compara la alta resolución con la estándar, encontramos el inconveniente de que una imagen de 80x80 que en baja resolución da 1 pulgada de ancho por 1 pulgada de alto, al desplegarla en alta resolución va a medir menos de 1/3 de pulgada.

2.1.2 En función de su longitud de onda

Se entiende como longitud de onda, la distancia real que recorre una perturbación en un determinado intervalo de tiempo. Ese intervalo de tiempo es el ocurrido entre dos máximos consecutivos. Dependiendo de la cámara seleccionada para un VANT, esta longitud puede variar dependiendo lo que se quiera mostrar, como se muestra a continuación (ver Conocimiento).

Óptica

Dispositivo utilizado para capturar imágenes que se encuentran en el campo visual. Las longitudes de onda que son capaces de captar varían entre 380 y 780nm.

Los dispositivos ópticos constan con una cámara oscura cerrada, con una abertura en uno de los extremos para que pueda entrar la luz, y una superficie plana de formación de imagen para capturar la luz del otro extremo. La mayoría de las cámaras tienen un objetivo compuesto por lentes que sirven para controlar la luz entrante y enfocar la imagen (ver Fisicoptica).

Estas cámaras instaladas en los drones son adaptaciones de las que comúnmente han invadido el mercado en los últimos años.



Figura 19, cámara óptica.



Infrarroja o térmica

Dispositivo que a partir de emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes visibles por el ojo humano. Estas cámaras operan con una longitud de onda que varía entre $3\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$.

Su funcionamiento se basa en que todos los cuerpos emiten una cierta cantidad de radiación en función de la temperatura. Por regla general los objetos emiten mayor radiación cuando mayor es su temperatura y viceversa. Por lo que el sensor óptico sólo debe percibir una determinada longitud de onda para representarla en el espectro visible en una pantalla monocromática, mostrando las zonas más calientes en blanco y las más frías en negro, además las temperaturas intermedias tienen matices grises.

Debido a la reducida gama de colores que se consigue obtener, existen otros modelos que procesan la imagen y muestran un abanico más amplio de colores en función de unos valores de longitud de onda predefinidos, para ser más fáciles de interpretar (ver Armados).

Existen dos tipos de cámaras térmicas:

Las cámaras infrarrojas con detectores criogenizados, para obtener una mayor sensibilidad se emplean semiconductores que se encuentran en vacío y además están refrigerados entre 4 y 110 grados Kelvin. Debido a la diferencia de temperatura entre el detector y el cuerpo captado por el emisor, se disminuye la incertidumbre en la medida, consiguiendo así una cámara más fiable.

Los materiales utilizados en los semiconductores son el telururo de cadmio y mercurio CdHgTe y el antimoniuro de indio InSb . Estas cámaras permiten acoplar lentes ópticas más potentes para observar objetos lejanos, aunque se debe tener en cuenta que los equipos son más costosos y necesitan un mayor consumo de energía para el refrigerador criogénico. Además el tiempo de enfriamiento del sensor hasta la temperatura óptima de utilización puede alcanzar los 7 minutos.

Otro tipo de cámaras infrarrojas son las no refrigeradas, estas funcionan a temperatura ambiente. Los equipos aunque son menos sensibles son más económicos, su consumo y peso son menores al no tener que refrigerarlos, por ello son los más utilizados en la industria. Los materiales utilizados son óxidos de vanadio y silicio amorfo. Los sensores utilizados funcionan cambiando las propiedades eléctricas del material del cuerpo emisor, como pueden ser la corriente, tensión o resistencia, comparando las medidas con la temperatura de operación del sensor, que generalmente se encuentra por



encima de los 0 grados centígrados, se pueden reducir las interferencias en la percepción de la imagen. Además estos equipos tienen la ventaja de ser más pequeños que los anteriores lo cual es una gran ventaja a la hora de montarlo en un dron (ver Armados).

De igual manera se pueden hacer otras dos distinciones dependiendo del origen de la radiación:

Las cámaras infrarrojas activas, emiten radiación infrarroja con un reflector integrado en la cámara, el haz infrarrojo ilumina el cuerpo detectado, refractándose en el mismo hasta ser recibido por la cámara e interpretado en una imagen monocromática. Además el reflector debe tener integrado un filtro, para evitar que sobre el objetivo interfiera luz visible.

Por último se debe tener en cuenta que a mayor alcance del reflector, mayor será su tamaño y peso, por lo que tendrá un mayor consumo de energía, necesitando así, una mayor capacidad de la batería, aumentando los costes asociados a la misma. Por este motivo las cámaras activas tienen un alcance aproximado de 100 metros.

Por otro lado las cámaras infrarrojas pasivas son conocidas como termográficas. A diferencia de las activas, las pasivas no tienen reflectores y perciben la radiación infrarroja tal y como es emitida por un cuerpo sin la utilización de filtros. Este es el tipo de cámara más común para ser instalada en un VANT, dado a que el ahorro de componentes reduce significativamente el peso, tamaño y precio.

Estas cámaras infrarrojas o térmicas, se usan para la visión nocturna, puesto que se basan en amplificar la intensidad o captar longitudes de onda no visibles para el ojo humano en condiciones de baja visibilidad.

Multiespectral e hiperespectral

Las cámaras multispectrales: son un dispositivo que es capaz de generar imágenes con pocas longitudes de onda simultáneamente, las bandas pueden ser contiguas o no, dependiendo de los resultados que se deseen obtener.

Por el contrario, las cámaras hiperespectrales son un dispositivo capaz de generar imágenes con múltiples longitudes de onda simultáneamente, siendo las bandas obligatoriamente contiguas (ver Álava).

Las cámaras hiperespectrales observan los sistemas objeto de estudio utilizando gran parte del espectro electromagnético, recopilando la suficiente



información de un conjunto de imágenes con diferentes longitudes de onda. Tras el procesamiento de las imágenes, se pueden montar de tal forma que se obtenga una imagen tridimensional. Si a esto se le añade que cada material tiene una firma espectral diferente, esta cámara puede facilitar la identificación de diferentes materiales encontrados en un objeto (ver Um).

Si se comparan estas cámaras multiespectrales e hiperespectrales con sistemas de imágenes basados en filtros, las cámaras proporcionan una mayor resolución espacial y espectral, una selección más flexible de las longitudes de onda por software y una amplia cobertura espectral desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, pasando por todo el espectro visible, mientras que las imágenes basadas en filtros, solo toman la imagen perteneciente a una determinada longitud de onda, obviando todas las demás (ver Infaimon).

Estas cámaras instaladas en un dron al igual que las térmicas anteriormente vistas, son capaces de adquirir imágenes con una resolución de 1 a 5 cm/píxel, reduciendo significativamente la resolución obtenida por los métodos tradicionales como son las aeronaves tripuladas o satélites que proporcionan una resolución de 20 a 250 cm/píxel.

2.2 Estabilizadores de imagen

Además de una correcta elección de la cámara a utilizar, es imprescindible instalar un buen sistema estabilizador de vuelo, puesto que este es un dispositivo encargado de reducir las vibraciones en la captura de una imagen cuando en la toma se producen movimientos no deseados. Existen dos tipos de estabilizadores los mecánicos y los digitales.

2.2.1 Mecánico

Cuenta con un sistema mecánico situado en el objetivo, el cual contiene dos superficies ópticas flotantes paralelas al interior del objetivo, que realizan las funciones de prisma flexible. Para optimizar el rendimiento del estabilizador es necesario la utilización de acelerómetros y giroscopios, que indican el movimiento, dirección y posición de la aeronave. Por lo que si se altera el ángulo de luz que atraviesa el prisma en el momento que se desea capturar una imagen, el sensor actuará moviendo el objetivo de la cámara en dirección opuesta a la realizada por el dron, estabilizando la imagen antes de ser procesada.

Aunque también existe otro método alternativo comparable al anterior utilizando de igual manera giroscopios y acelerómetros ubicados en el cuerpo de la cámara, solo que esta vez, en vez de actuar en el objetivo de la cámara

se actúa sobre el sensor de imagen para compensar el movimiento (ver Xatakafoto).



Figura 20, estabilizador de imagen mecánico.

2.2.2 Digital

Se puede diferenciar entre dos tipos de estabilizadores como son por reducción del tiempo de exposición o por recorte.

Estabilización de imagen por reducción del tiempo de exposición

Si no se desea instalar ningún sensor para estabilizar la imagen, existen cámaras en el mercado que funcionan con sensibilidades ISO más altas que la sensibilidad escogida por el usuario, completada por una velocidad de obturación más alta. Esto permite obtener imágenes con un tiempo de exposición menor que las convencionales, por tanto se verán menos afectadas por movimientos externos.

La disminución de tiempos en la toma, hace que estas cámaras sean más sofisticadas y por lo tanto más caras que las que utilizan un sensor para estabilizar la imagen, por lo que son las menos instaladas en un VANT (ver Quecamara).

Estabilización de imagen por recorte

Sistema electrónico utilizado principalmente en la realización de videos, el cual actúa directamente sobre la imagen obtenida en el sensor de la cámara, siendo indiferente si la cámara está estabilizada o no. Teniendo en cuenta, que a mayor desestabilización de la cámara, menor será el tamaño de la imagen captada, debido a la necesidad del sensor de compensar el movimiento. El sistema electrónico se encarga de determinar el índice de la fila y la columna de la imagen capturada perfectamente estabilizada, por lo que el sensor debe presentarse en primera fila y primera columna de la imagen útil y reducir el tamaño de la misma hasta centrarla. En estos tipos de

estabilizadores se sacrifica resolución y claridad de la imagen (ver Quecamara).

2.3 Otros sensores y sistemas

2.3.1 Gases

Dispositivo capaz de detectar variaciones en las concentraciones de gases como el CO_2 , CO , O_2 , entre otros, convirtiéndolas en una señal eléctrica, que es enviada al controlador de vuelo, desde donde se enviará una señal que es transmitida, mostrada o utilizada para operar alarmas o controles, dependiendo de parámetros previamente definidos.



Figura 21, detector de gases.

En el mercado existen diferentes tipos de sensores de gas detallados a continuación:

Sensores electroquímicos.

Cuentan con dos electrodos sumergidos en un electrolito común, aislado de las influencias externas mediante una membrana permeable al gas, un medio de difusión o un capilar. Durante el funcionamiento, una tensión polarizada es aplicada a los electrodos y cuando el gas penetra en el sensor una reacción redox genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas.

Sensores de conductividad térmica

Cuenta con dos filamentos con propiedades conductoras y térmicas. Cada filamento se ubica en una célula independiente y el conjunto se encuentra a una temperatura definida, para evitar anomalías en el funcionamiento. Además es importante tener una célula de referencia donde se encierre una cantidad determinada de aire, para comparar los valores obtenidos. En la célula de medida penetra el gas a detectar. Su conductividad térmica, diferente al gas de referencia, hace que la temperatura del filamento se altere, produciendo un desequilibrio en el sistema.



Sensores catalíticos

Cuenta con un pellistor, que está formado por un filamento de platino calentado eléctricamente. Dicho filamento está recubierto por una base cerámica y por una dispersión catalítica de paladio o rodio. Cuando una mezcla de aire y gas inflamable se pone en contacto con la superficie caliente del catalizador, se produce una combustión que aumenta la temperatura del pellistor lo cual altera la resistencia del filamento de platino, pudiéndose determinar la medida a través de un circuito, cuya resistencia está directamente relacionada con la concentración de gas presente (ver Slidashare).

2.3.2 Telemetría

Tecnología que permite la medición a distancia de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema, típicamente se envía la información a la placa controladora donde es transmitida a la unidad receptora mediante comunicación inalámbrica, aunque la información también puede ser almacenada y posteriormente extraída mediante conexión USB. Los sistemas de telemetría reciben las instrucciones y los datos necesarios para operar desde el centro de control. Esta tecnología es muy utilizada para controlar y dirigir drones, además de acumular y procesar gran cantidad de datos (ver Reciclajesecontrans).

2.3.3 Ultrasonidos

Detectores de proximidad que trabajan libres de rozamientos mecánicos, los cuales son capaces de detectar objetos a distancias que van desde varios metros hasta muy pocos centímetros. El funcionamiento por ultrasonidos se basa en la emisión de un pulso de sonido por un emisor que rebota sobre un determinado objeto, cuya reflexión es detectada por el receptor de ultrasonidos, posteriormente la señal recibida se transforma en una señal eléctrica la cual es evaluada en el aparato de valoración. Los materiales a detectar pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo deben ser deflectores de sonido (ver Uvigo).

Su frecuencia de funcionamiento es mayor de la que el ser humano es capaz de detectar, operando en un rango que varía desde los 20 KHz hasta los 40 KHz. Para generar ultrasonidos se usan materiales piezoeléctricos. Si sobre estos sólidos se ejerce una presión mecánica, estos reaccionan con el desplazamiento de cargas eléctricas y viceversa. Dichos desplazamientos producen la aparición o desaparición de cargas moleculares que pueden manifestarse como tensiones eléctricas.



Los ultrasonidos presentan una serie de problemas explicados a continuación:

La mayoría de los transductores producen un pulso en forma cónica. El eco percibido como respuesta a la reflexión del sonido indica la presencia del objeto más cercano, que se encuentra dentro del cono acústico, este no especifica en ningún momento la localización angular del mismo, por lo que no se puede definir exactamente donde se encuentra el objeto.

La cantidad de energía acústica reflejada por el obstáculo depende de la estructura de su superficie. Por lo que el tamaño de las que presenta el objeto reflector debe ser comparable a la longitud de la onda incidente.

Los sensores de ultrasonido más simples en su funcionamiento, utilizan el mismo transductor como emisor y receptor. Tras la emisión del ultrasonido se espera un determinado tiempo a que las vibraciones en el sensor cesen, de esta manera está preparado para recibir el eco. Esto implica que existe una mínima distancia a través de la cual los objetos no se detectan los objetos correctamente y son alejados a una distancia igual al tiempo que tardan en cesar las vibraciones del sensor.

De igual manera se pueden producir falsos ecos debidos a que la onda sonora emitida se refleje varias veces en diversas superficies antes de que vuelva a incidir en el transductor. Si se emplean varios sensores trabajando al mismo tiempo puede ocurrir que un sensor emita un pulso que sea detectado por otro que estuviera esperando el eco del pulso que él había emitido con anterioridad.

Las ondas de ultrasonido obedecen a las leyes de la reflexión de ondas, por lo que dicha onda tiene el mismo ángulo de incidencia y reflexión respecto a la normal de la superficie. Esto implica que si la orientación relativa de la superficie reflectora con respecto al eje del sensor es mayor que cierto umbral, el sensor nunca recibirá el pulso de sonido que emitió (ver Alcabot).

Los ultrasonidos habitualmente son utilizados para la estabilización de vuelo del multirroto o para evitar la colisión con otros objetos, siendo de especial ayuda para la grabación de imágenes. Por ello generalmente están ubicados debajo de las cámaras.



Figura 22, placa generadora de ultrasonidos.

2.3.4 Sistema LIDAR

Sistema que se utiliza para medir la distancia entre un emisor y un objeto mediante el empleo de un escáner laser que emite impulsos de alta frecuencia. Registra el impulso reflejado por la superficie del terreno y los objetos sobre el mismo, de esta manera se pueden determinar las coordenadas tridimensionales de cada punto de la superficie.

Este sistema se ha convertido en una importante herramienta en la realización de fotogrametrías e imágenes en 3D, sirviendo de gran ayuda cuando la fotogrametría falla o se aumentan en exceso los costes asociados a la captación de imágenes, como por ejemplo en áreas con vegetación muy densa, donde el costo de producir un modelo digital es cuantioso (ver Detopografía).

3.- Otros vehículos no tripulados

3.1 Vehículos terrestres no tripulados

Un vehículo terrestre no tripulado (UGV) es un vehículo que funciona en permanente contacto con el suelo sin presencia humana en su interior.

Los UGV se utilizan en aplicaciones en las que puede ser inconveniente, peligroso o imposible tener a un operador humano en su interior, como la desactivación de bombas o el rastreo de un edificio en ruinas (ver Emaze). En este vehículo se pueden instalar gran parte de los sensores y cámaras utilizados en los VANT no pudiéndose instalar sistemas para realizar fotogrametrías o LIDAR. A este tipo de vehículo se le puede extrapolar las divisiones en cuanto a los tipos existentes anteriormente comentadas, menos lógicamente la de en función de sus alas, puesto que los UGV no pueden volar. Estos comenzaron a desarrollarse en los años 30, con una forma muy parecida a los tanques de la época, con la diferencia que mientras los VANT fueron desarrollados como blancos en sus inicios, los UGV iban completamente armados.

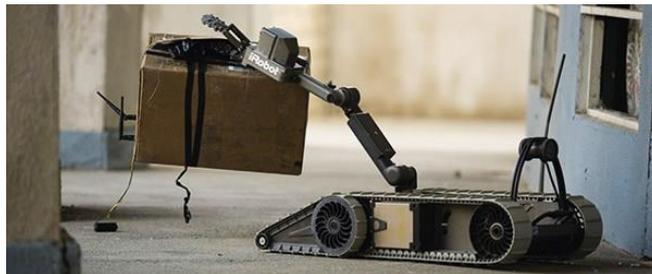


Figura 23, vehículo terrestre no tripulado.

3.2 Vehículos submarinos no tripulados

Un vehículo submarino no tripulado es aquel que funciona en permanente contacto con el agua sin presencia humana en su interior.

Dentro de este tipo de vehículos se puede realizar una diferenciación, como los vehículos remotamente operados (ROV) que están conectados mediante un cable a los dispositivos de control y los vehículos completamente autónomos (UUV), que permiten ciertos grados de autonomía y ciertas operaciones remotas.



Figura 24, ROV (izquierda), UUV (derecha).

Los tipos ROV, poseen la capacidad de operación remota en tiempo real, esto es posible debido a la conexión de datos y a la transmisión de potencia eléctrica, establecida mediante el cable. Aunque este cable limita el espacio físico de operación y la capacidad de movimiento, permite realizar operaciones en las que se requiere un alto consumo eléctrico, como por ejemplo soldar el armazón de un barco encallado.

Los tipos UUV, poseen una elevada capacidad de movimiento bajo el agua, permitiendo desarrollar a estos aparatos una mayor libertad de operación que los ROV, aunque su capacidad de operación es mucho menor, puesto que dependen de la capacidad de sus baterías. Como los UUV no poseen conexión en tiempo real con la estación del operador, estos se comunican por sistemas radio frecuencia o satélite. Son utilizados para la grabación de hundimientos en lecho marino (ver DronesUV4).

3.3 Vehículos anfibios no tripulados

Los nuevos modelos anfibios son capaces de flotar, sumergirse, elevarse por los aires o moverse por la tierra, con igual pericia y precisión.

Hay que tener en cuenta que estos drones por el momento no hacen todo lo anterior a la vez, sino que solo pueden hacer dos a la vez, por tanto un dron puede volar y sumergirse, o volar y moverse por la tierra, etc. Esto es debido a la necesidad que tiene el sector civil de impresionar al consumidor, y por la competencia entre los diferentes productores.



Figura 25, vehículo anfibio no tripulado.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



4.- Normativa relativa a los vehículos no tripulados (drones)

Las características del sector de las aeronaves pilotadas por control remoto hacen que formular una regulación para el mismo sea una tarea compleja, debido a las diferentes características, componentes y prestaciones, que se pueden encontrar en el mercado, además el tamaño puede variar de unos pocos centímetros hasta varios metros con diferentes velocidades y tipos de desplazamiento. Todos los sistemas que se pueden instalar, van desde un control totalmente manual a otros completamente automáticos, hacen necesario establecer una serie de normas y requisitos básicos para un correcto funcionamiento del sector, puesto que al regularse este mercado, facilita la inversión y favorece la profesionalización del sector.

Por otra parte, la creciente venta de aeronaves, a personal ajeno al sector aeronáutico, hace que no se esté en conocimiento de las diferentes normas básicas del sector, poniendo en serio peligro a ellos mismos y a los de su entorno. Por tanto resulta necesario la formación de pilotos que tengan en cuenta todas las circunstancias del colectivo. Además del deber por parte de la legislación de obligar al piloto a la contratación de un seguro de responsabilidad obligatorio.

Al ser un sector en crecimiento, en el cual se aplican siempre las últimas tecnologías, hará necesaria una continua actualización de la normativa, de manera que siempre se mantenga acotada una correcta utilización de dichos aparatos. Por tanto, se aconseja tener una normativa que sea lo más flexible posible en materias de desarrollo y lo más rígida posible en materias de seguridad.

Si bien esta tecnología ha ido en aumento en los últimos años, todavía no está integrada en el espacio aéreo como un usuario más, ante la falta de sistemas que permitan detectar y evitar el tráfico.

La fuerte aceleración que se produjo en el sector español, obligó al Gobierno a trabajar en una nueva legislación, aunque para ello se tuviera que modificar algún punto del Real Decreto-ley 48/1960 sobre la navegación aérea, intentando establecer una normativa inicial, pendiente de una renovación que permita concretar más en algunos apartados. Así, el Boletín Oficial del Estado nº 163, del 5 de julio de 2014, publicaba el Real Decreto-ley 8/2014, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficacia, cuyos artículos 50 y 51, contienen esa normativa temporal. Posteriormente, este Real Decreto-ley fue convalidado por el Parlamento, y finalmente tramitado por éste como Ley ordinaria, siendo aprobada y publicada en el Boletín Oficial del Estado nº 252, del 17 de octubre de 2014,



como Ley 18/2014. Donde en el artículo 5 se exponen una serie de medias aplicables a los VANT (ver Anexo).

En paralelo a lo anteriormente descrito, continuaron los trabajos para una normativa definitiva. El 11 de julio la Dirección General de Aviación Civil, presentó en el Ministerio de Fomento, un primer borrador, que fue sometido a trámite de audiencia a las partes interesadas, y posteriormente, por Resolución de la Dirección General de Aviación Civil de 14 de octubre, publicada en el Boletín Oficial del Estado nº 256, del 22 de octubre de 2014.

A nivel internacional, el 7 de diciembre de 1944, numerosos países firmaron el Convenio de Chicago, Sobre aviación internacional. España no entró a formar parte de este convenio hasta el año 1947. De los 96 artículos iniciales cabe destacar el artículo 8, ya se contemplaban las aeronaves con capacidades de volar sin piloto, acordándose que: “Ninguna aeronave capaz de volar sin piloto, volará sin él sobre el territorio de un Estado contratante a menos que se cuente con autorización especial de tal Estado y de conformidad con los términos de dicha autorización. Cada Estado contratante se compromete a asegurar que los vuelos de tales aeronaves sin piloto en las regiones abiertas a la navegación de las aeronaves civiles, sean controlados de forma que se evite todo peligro a las aeronaves civiles.

El Convenio de Chicago creó la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), organismo especializado de la ONU que desarrolla Normas y Métodos Recomendados, de dichos documentos hasta ahora se han publicado 19 Anexos.

La OACI empezó a especializarse en el tema de aeronaves no tripuladas en 2005, hasta que en 2007 constituyó un Grupo de Estudio sobre Sistemas Aéreos No Tripulados. En 2011 publicó la Circular 328, con el objetivo aunar conceptos y términos, para que sirviera como documento orientativo, a la hora de realizar distintos documentos, informes o leyes.

A nivel europeo la normativa sobre seguridad aérea es, con carácter general, competencia comunitaria, como consecuencia directa de haber establecido un mercado único en el sector aéreo. Está regulada por el Reglamento (CE) Nº 2016/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de febrero de 2008, sobre normas comunes en el ámbito de la aviación civil y por el que se crea una Agencia Europea de Seguridad Aérea.

Del ámbito de aplicación de la normativa europea se encuentran excluidas todas las aeronaves que efectúen actividades o servicios militares, además de las aeronaves no tripuladas con una masa operativa superior a 150kg. La competencia para regular ambos tipos, recae únicamente en cada uno de los Estados miembros.



Otras normas a tener en cuenta para la conducción de aeronaves con control remoto, son:

Según las condiciones meteorológicas visuales que se definen en el apartado SERA.5001 de la Sección 5 del Anexo al Reglamento de Ejecución (UE) nº 92372012 de la Comisión de 26 de septiembre de 2012 por el que se establecen el reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para servicios y procedimientos de navegación aérea, conocido como el Reglamento SERA.

El espacio aéreo no controlado es el clasificado como de Clase F o G, según la clasificación establecida por el apartado SERA.6001 de la Sección 6 del Reglamento SERA. La clasificación del espacio aéreo en España se encuentra contenida en el Servicio de Información Aeronáutica (AIS), suministrada en España por ENAIRE, entidad pública que presta los servicios de tránsito aéreo en ruta y de aproximación para todo el territorio nacional.

Los procedimientos aplicables se establecen en los apartados 6 y 7 del artículo 50, publicado por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) en su página web, donde se exponen algunos puntos de aceptable cumplimiento y material de guía. El apartado 6 se refiere a los procedimientos para el ejercicio de las actividades de trabajos aéreos previstos en el apartado 3 y la realización de vuelos especiales del apartado 4 con aeronaves de masa máxima al despegue de hasta 25 kg, que quedan sujetas a un régimen de comunicación previa y declaración responsable conforme al artículo 71 bis de la ley 30/1992 de 26 de noviembre de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, sin necesidad de autorización explícita. En la documentación previa, se debe informar de los datos identificativos del piloto, las características, prestaciones y configuración de las aeronaves, tipos de trabajos técnicos o científicos que se vayan a desarrollar, limitaciones que se vayan a aplicar para garantizar la seguridad.

Junto a la comunicación previa, el operador debe garantizar que se compromete bajo su responsabilidad a cumplir los requisitos exigidos para la realización de la actividad, además se deberá aportar un Manual de Operaciones, así como un estudio aeronáutico de seguridad y documentación acreditativa de disponer el seguro exigido.

Cualquier cambio en dicho procedimiento, deberá de ser comunicado, y requerirá presentar una nueva declaración responsable actualizada, junto a todas las modificaciones. Esta comunicación deberá presentarse con un mínimo de 5 días de antelación respecto de la fecha prevista de implementación de la modificación.



El plazo de emisión del recibo por AESA empieza a contar desde el momento que la Agencia recibe toda la documentación pertinente.

En el apartado 7 del artículo 50 se refiere a los procedimientos para el ejercicio de actividades de trabajos previstos en el apartado 3 y la realización de vuelos especiales del apartado 4 con aeronaves de masa máxima al despegue de hasta 25 kg, que está sujeta a autorización previa por AESA. El contenido mínimo será el mismo que el comprendido en el artículo 6, y junto a ella deberá presentarse también la declaración responsable y documentación adjunta exigida en ese apartado. En caso de no facilitar alguno de los procedimientos señalados en el plazo máximo establecido se entenderá que la autorización debe ser denegada por silencio administrativo.

En la web de la AESA existen una serie de apéndices en los que se mencionan modelos de declaración responsable.

Por último en el apartado 8 del artículo 50, se establece la comunicación previa a la autorización final para la realización de trabajos aéreos. Será AESA quien tendrá el derecho de controlar e inspeccionar, la correcta realización de los trabajos.

AESA preparó un Proyecto al Real Decreto con el objetivo de dar cumplimiento a la Disposición final de la Ley 8/2014, de aprobación de medidas urgentes, en la que se establecía que: “el Gobierno determinará reglamentariamente el régimen jurídico aplicable a las aeronaves civiles pilotadas por control remoto, así como a las operaciones y actividades realizadas por ellas. A la entrada en vigor de la referida norma reglamentaria quedará sin vigencia el contenido del artículo 50”.

Este proyecto se encuentra actualmente en tramitación, habiéndose sometido a trámite de audiencia por las partes interesadas, y posteriormente a información pública, el 14 de octubre de 2014, BOE nº256 de 22 de octubre. Dicho proyecto será objeto de modificación en función de las alegaciones recibidas, en este proyecto se proponen entre otras la eliminación de las limitaciones de las aeronaves a volar en ambientes urbanos o sobre aglomeraciones de personas, vuelo nocturno, sujeto a cumplimentaciones y requisitos adicionales a los dispuestos inicialmente para garantizar la seguridad.

Dependiendo del trabajo que se desee realizar, cabe mencionar una serie de normas que resultan aplicables para operaciones específicas. Por tanto se debe tener en cuenta la Orden de Presidencia del Gobierno de 14 de Marzo de 1957, sobre Fotografía Aérea y el Decreto de 13 de agosto de 1948, por el que se reglamenta la propaganda comercial realizada desde el aire, BOE nº 28 de 7 de octubre de 1948.



Cuando se desee realizar una fotografía aérea habrá que solicitar el permiso a AESA, si se realizara en una zona del territorio español que es considerada como restringida al vuelo fotográfico. Para otorgar la concesión de vuelo AESA ha de pedir permiso al Estado Mayor del Ejército del Aire. En caso de vuelo con fines cartográficos se ha de pedir permiso al Instituto geográfico Nacional, para cualquier zona, si se desea tener más detalle existe un correo habilitado, trabajosaereos.aesa@seguridadaerea.es.

Para las actividades en las que se pudieran captar datos personales, como los producidos por cámaras fotográficas, sensores térmicos etc., se debe consultar la normativa sobre protección de datos de carácter personal, Ley Orgánica 157/1990, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y Real Decreto 1720/2007 por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 157/1990. La Agencia Española de Protección de Datos es el organismo dependiente de la Administración General del Estado encargado de velar por su aplicación.

Por último se debe mencionar a la normativa de telecomunicaciones. El Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias (CNAF) debe cerciorarse de que se utilizan bandas de frecuencia asignadas al servicio móvil aeronáutico, para lo que hay que obtener la autorización del organismo competente que se encuentra en la Dirección General de Telecomunicaciones del Ministerio de Industria, Energía y Turismo). Para estos dispositivos la frecuencia más común es 2,4GHz, teniendo en cuenta que hay que respetar las limitaciones de potencia de emisión y que estará sujeto a interferencias con otros usuarios.

En este sentido habrá que tener en cuenta si afecta la Directiva 1999/5/CE del parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 1999, sobre equipos radioeléctricos, terminales de telecomunicación y reconocimiento, traspuesta en España por el Real Decreto 1890/2000, de 20 de noviembre. Esta directiva ha sido recientemente sustituida por la Directiva 2014/53/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014 relativa a la amortización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Una vez especificados los diferentes tipos de aeronaves, modos de empleo, sensores y sistemas de ayuda al vuelo, se va a proceder a realizar un estudio que intentará explicar una amplia variedad de aplicaciones civiles, que se encuentran operativas o en vías de desarrollo en la actualidad. Además se describirán los métodos operativos, sensores o sistemas que resulten eficaces para una correcta captación de los datos.

Todas las aplicaciones serán estructuradas de idéntica manera, con una breve introducción donde se describirán las causas o motivos por los que el uso de drones podría ser interesante, continuando con los sensores o sistemas de vuelo principales que deben estar instaladas en cada vehículo, para a continuación desarrollar el grueso de la aplicación, comentando algunas infraestructuras donde puede ser interesante su uso, prototipos o vehículos que están desarrollando las empresas o instituciones, además de intentar profundizar en los métodos de trabajo específicos de cada estudio. Por último se explicaran una serie de conclusiones operativas pertenecientes a cada aplicación.

Para una mayor comprensión se ha optado por dividir este capítulo en tres apartados.

En un primer apartado denominado “Defensa y seguridad”, se desarrollaran todas las aplicaciones que tengan como objetivo principal la protección de naciones, personas o infraestructuras, sirviendo el dron como herramienta de captación o persecución de actividades ilícitas. Principalmente serán las principales fuerzas y cuerpos de seguridad de los diferentes estados o empresas encargadas a la seguridad privada los encargados de operar y desarrollar las aeronaves.

El siguiente apartado “Comercial o industrial”, desarrolla aquellas aplicaciones que tienen como finalidad ayudar en la toma de decisiones del sector primario y secundario, además de garantizar una correcta utilización de los recursos naturales disponibles. Los principales propulsores de estas aplicaciones serán los autónomos, pymes, empresas o grupos de investigación, que persiguen obtener un correcto desarrollo del producto aumentando al máximo el beneficio económico, a través del uso de nuevas tecnologías.

El último apartado es el encargado de recoger todas las actividades relacionadas con el “Ocio” donde las principales empresas buscan una comercialización más agresiva con el objetivo de llegar a vender su producto a usuarios no profesionales, que no buscan obtener ningún beneficio



económico de su actividad. También estarán incluidas en este apartado los desarrollos tecnológicos de empresas que tradicionalmente se han centrado actividades relacionadas con el ocio y que a través de VANT intentan expandir su volumen de negocio.



5.1.1 Seguridad y terrorismo

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en cuestiones de espionaje industrial, las alternativas que tienen las empresas para proteger sus bienes, la evolución del trabajo desarrollado por los vigilantes de seguridad, en el interior y exterior de los edificios e infraestructuras aeroportuarias, las ventajas e inconvenientes que presentan los nuevos sistemas de vigilancia de instalaciones o los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa económicamente viable.

En una época donde la inseguridad ciudadana a sufrir atentados va en aumento, donde han aparecido nuevos métodos de espionaje industrial o donde las empresas de seguridad prestan sus servicios para proteger instalaciones públicas y privadas, se hace de vital importancia el desarrollo de nuevas tecnologías, para apoyar a los medios humanos a desempeñar su trabajo de la manera más segura posible.

Vehículos recomendados

Ala fija o multirrotores.

Modo automático y manual.

Cámaras térmicas y ópticas.

Visión nocturna.

GPS.

Ultrasonidos.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en cuestiones de seguridad y terrorismo

En los últimos años, nuevos métodos de espionaje como ciberataques, suplantación de identidad, robos de bases de datos o información personal, han copado la prensa internacional. Entre los que más repercusión han tenido



se pueden encontrar el ciberataque a Sony Pictures en 2014, donde se filtraron datos y películas, cuyas pérdidas se calculan superiores a los 200 millones de dólares o a la web de contactos Ashley Madison donde fueron filtrados datos personales y financieros de más de 37 millones de clientes. Aunque no todos los ataques se produjeron a través de las redes para filtrar datos, otros como los perpetrados en Ucrania en el año 2015 produjeron apagones coordinados de luz en todo su territorio, utilizando únicamente drones (ver Adslzone2).

Se debe tener en cuenta que no todos los ataques se realizan a gran escala, múltiples archivos maliciosos, amenazan los dispositivos informáticos de todo el planeta a la espera de sustraer información de los usuarios. Estos ataques han sufrido en los últimos tiempos un incremento vertiginoso debido a la gran variedad de tecnología que se ha desarrollado, donde altavoces inalámbricos, bandas de actividad física, drones, entre otros, batieron record de ventas año tras año, mostrando fallos de seguridad al estar permanentemente contactados a redes Wifi o Bluetooth, fáciles de piratear, debido a que estos aparatos tienen funcionalidades muy interesantes como geolocalización, datos de navegación, acceso a cámaras, contraseñas o emparejamiento con otros dispositivos que pueden aportar mayor información (ver Colt).

Para hackear cualquier red Wifi o Bluetooth basta con estar cerca de ella, para que a través de la ejecución de un programa informático se pueda descifrar la clave de acceso a la misma, y tener acceso a todos los documentos guardados en los servidores de una empresa o un particular.

Precisamente la utilización de drones en labores de espionaje se centra en estar lo más cerca posible del objetivo a infectar, pudiendo equipar las aeronaves con transmisores externos, cuya misión sea interceptar señales de radiofrecuencia de otros dispositivos. Estos transmisores no sólo son capaces de detectar una red Wifi, también pueden interferir en teclados o ratones inalámbricos exportando al centro de control todos los datos de escritura de los mismos. Así mismo pueden interferir en los controles de las máquinas industriales, pudiendo robar los datos almacenados en la memoria, o variar diferentes datos de su programación (ver Adslzone2).

Pero no todos los ataques relacionados con el espionaje industrial se realizan a través de la intrusión de un virus en una red informática, en múltiples ocasiones basta con equipar a un nanodron con una cámara óptica, para que se introduzca en las instalaciones y poder captar imágenes de su interior (ver Colt).

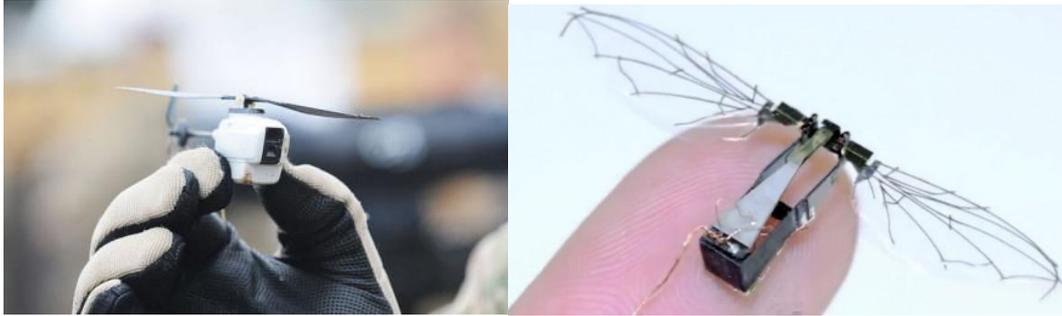


Figura 26, nanodron.

Paralelamente a las actividades delictivas desarrolladas con drones, existe una vertiente relacionada con la seguridad de equipos, bienes, personas e infraestructuras, que pretende garantizar la seguridad de los mismos utilizando únicamente vehículos aéreos no tripulados, o lo que es lo mismo, empresas que se dedican a la seguridad aérea privada mediante drones.

Aunque este sector se encuentra en fases tempranas de desarrollo, es uno de los que más proyección de futuro se le suponen, puesto que son capaces de obtener imágenes de grandes superficies desde un punto de vista único, con un coste relativamente reducido.

Las aeronaves utilizadas para labores de seguridad, dependerán del territorio donde van a desarrollar su actividad. Si su funcionamiento va a tener lugar en exteriores, con pocos obstáculos a su alrededor, se pueden utilizar, VANT de ala fija o multirrotores dependiendo de la superficie a cubrir, deberán estar equipados con cámaras ópticas, térmicas o con visión nocturna, para que puedan desarrollar su actividad tanto por el día como por la noche, facilitando la detección de personas. Si el funcionamiento se quiere que sea en modo automático describiendo siempre una misma ruta, se deberá instalar un GPS. La incorporación de una placa controladora, que sea capaz de transmitir al centro de control las imágenes de video captadas con las cámaras en tiempo real se hace esencial, para una rápida intervención en caso de detectar alguna anomalía o intrusión.



Figura 27, captación de intrusos a través de una cámara con visión nocturna.



Mientras que si su utilización va a realizarse en el interior de los edificios, deberá de tener instalado un sensor de ultrasonidos que detecte los obstáculos que se le puedan presentar, puesto que el GPS puede tener una mala cobertura.

Precisamente la utilización de drones para la vigilancia de interiores, es la aplicación donde las empresas de seguridad están centrando sus recursos, puesto que ofrece una serie de ventajas muy interesantes como, poderse utilizar tanto en vuelos diurnos como en nocturnos o el no necesitar de ninguna autorización a la hora de utilizar drones en el interior de un edificio puesto que el espacio aéreo existente en su interior no es competencia de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea “AESA” (ver Confidencial2).

Indiferentemente de que la actividad se desarrolle en el interior o en el exterior de los edificios, la aplicación de drones en materia de seguridad no pone en peligro a los vigilantes, teniendo estos que intervenir únicamente cuando se detecte alguna anomalía, facilitando por tanto su trabajo. De igual manera, si se detecta alguna intrusión se obtienen pruebas fotográficas de los hechos o delitos producidos (ver Skydron).

Se debe tener en cuenta que no todas las intrusiones vienen motivadas por el ser humano, sino que existen infraestructuras como almacenes de grano o aeropuertos entre otros, donde el principal problema viene motivado por las aves, bien sea por la gran cantidad de alimento existente en los almacenes, o para evitar los choques de las aves contra los aviones en momentos críticos de despegue o aterrizaje.

Por lo que la empresa española Fobos Solutions ha realizado un original invento que simula el aspecto, movimientos y comportamiento de un ave rapaz en pleno vuelo, siendo capaz de ahuyentar a aves más pequeñas de un determinado territorio (ver Lavozdegalicia).

El VANT en cuestión, es una aeronave de ala fija, pilotada en modo manual, de forma que es el piloto quien decide en que momento puede sobrevolar una determinada zona, sin aportar ningún tipo de peligro. Dependiendo de la zona y del ave que se quiera espantar, podría ser conveniente la utilización de un sensor de ultrasonidos para aumentar la efectividad de la aeronave.



Figura 28, AUV que emula un halcón.

La empresa ofrece diferentes aeronaves en función de las necesidades y de las aves que se quieran ahuyentar, así cuentan con VANT que adquieren formas de águilas, halcones o gavilanes, aportando diferentes tamaños.

Con la intrusión de drones con forma de aves se pretende disminuir la presencia de aves rapaces amaestradas en lugares donde puedan sufrir daños, y sustituir la presencia de fuegos artificiales o espantapájaros por técnicas que conlleven una mayor efectividad.

Conclusiones

Los ciberataques expuestos anteriormente son un problema real para toda la sociedad, por lo que se van a exponer una serie pautas para conseguir una mayor seguridad de los archivos guardados en los sistemas informáticos.

- Utilizar ratones o teclados cableados, en lugar de los inalámbricos.
- Utilizar una conexión a internet por cable.
- No sincronizar varios aparatos a una misma cuenta.
- No tener permanentemente conectados gadgets vía bluetooth al teléfono móvil.
- Proteger archivos importantes con contraseñas.

Por otro lado no se debe caer en el error de pensar que a un dron no se le puede derribar, puesto que en la actualidad, múltiples empresas intentan protegerse de los mismos, utilizando sistemas que emiten interferencias que al incidir sobre un dron, hace que este deje de funcionar.

Por otro lado, las empresas u organismos del estado son cada vez más propensos a invertir en seguridad, mejorando todos los sistemas y métodos que estén a su alcance para evitar filtraciones que supongan pérdidas millonarias, o mejorar la seguridad de sus empleados, clientes y agentes de seguridad.



5.1.2 Control fronterizo y rescate de personas

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en cuestiones de seguridad en el control de fronteras y en el rescate de personas, los organismos que se encargan del control de los equipos y de las fronteras, además de detallar las necesidades de uso de los sistemas utilizados.

En los últimos tiempos España soporta una gran presión sobre sus fronteras debido a la inmigración irregular, con cientos de embarcaciones que intentan desembarcar sobre las Islas Canarias o el sur peninsular, o el intento de cruzar la valla de Ceuta y Melilla, combinado con la necesidad de aumentar las dotaciones destinadas a atender a personas en catástrofes naturales tales como desbordamientos, inundaciones, terremotos, etc, además de la problemática que supone el tráfico de drogas existente en el estrecho de Gibraltar, toda la zona sur peninsular y algunas provincias gallegas.

Si a estos fenómenos se le añaden los riesgos ocasionados por el ser humano en el desarrollo de actividades industriales, como fugas radioactivas, incendios, vertidos, los peligros intrínsecos a las actividades deportivas como esquí, alpinismo o por la proliferación de guerras que suponen miles de personas desplazadas, entre otros por lo que existe un amplio campo de aplicación para la utilización de nuevas tecnologías que se utilicen para el rescate personas o persecución del tráfico de drogas.

Para hacer frente a todo lo que ocurre en sus aguas el Gobierno de España creó diferentes secciones dentro de la Guardia Civil, dotándolas de efectivos acuáticos y aéreos. Implantando el Sistema Integrado de Vigilancia Exterior “SIVE”, que consta de diferentes radares, cámaras y una red de comunicaciones, teniendo de esta manera monitorizada todo lo que sucede en aguas españolas. Mientras que para catástrofes ocurridas en el interior de las fronteras es la Unidad Militar de Emergencias “UME”, junto con los cuerpos de seguridad del estado son los encargados de hacer frente a cualquier tipo de incidencias.

No obstante, desde los cuerpos de seguridad del estado se continúan desarrollando nuevos proyectos con la finalidad de complementar los medios de vigilancia y control de los que se dispone. Tras probar con diferentes tecnologías, la que ha conseguido una mayor relevancia ha sido a través de drones, puesto que pueden dar una visión global aérea de un cataclismo o una incidencia ayudando en la tomar decisiones correctas.



Vehículos recomendados

Ala fija.

Modo automático y manual.

Cámaras ópticas, multiespectrales o térmicas.

Visión nocturna.

GPS.

Radar.

Capacidad de transmisión en tiempo real.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en el rescate de personas y control de fronteras

Los sistemas que tradicionalmente se vienen usando en el control de fronteras españolas prestan especial atención a todas las embarcaciones de pequeño tamaño entre 5 y 15 metros de eslora, que navegan a velocidades comprendidas entre 10 y 60 nudos (18-110Km/h), además de objetivos aéreos tales como avionetas y helicópteros que vuelan a velocidades cercanas a 150 nudos (277Km/h) por debajo de los 1.000pies (304 metros) de altura.

Teniendo en cuenta los medios con los que cuenta la Guardia Civil, tres son las formas de operación que se consideran más convenientes para la detección de vehículos sospechosos.

Sistemas operados desde un punto próximo a la costa, cubriendo zonas relativamente pequeñas, para completar la labor de los sistemas de vigilancia.

Sistemas operados desde la costa o a distancia de la misma, cubriendo extensas áreas para llegar más allá de los sistemas costeros, incrementando así las posibilidades de detención e identificación.

Sistemas operados desde una embarcación para completar la detección de embarcaciones y avionetas desde una ubicación cercana al punto de partida de las mismas (ver DronesUV2).

En España la Guardia Civil junto con Indra y otros socios de la Unión Europea están inmersos en el proyecto Perseus “Protection of European boRders and Seas through the intEligent Use of Surveillance”, cuya finalidad es la mejora mediante el uso de nuevas tecnologías y sistemas inteligentes, de la vigilancia marítima y fronteras Europeas. Cuanta con un presupuesto de 43,7 millones de euros, invertidos a lo largo de cuatro años.

Este proyecto PERSEUS combina la última tecnología de sistemas radar y satélite para obtener una descripción en tiempo de las costas y de las aguas pertenecientes a la Unión Europea. Donde a través de técnicas de discretización de datos, detecta de manera automática la totalidad de los barcos que entran y salen de los límites del radar e identifica según algunos parámetros definidos previamente como el rumbo la velocidad o destino, los barcos sospechosos o no colaborativos. Estos datos facilitan la toma de decisiones y reduce el tiempo de respuesta de las autoridades, pudiendo mandar un VANT, una aeronave o un barco a la zona para obtener imágenes del barco en cuestión o proceder a su intimidación. Por otro lado, este sistema facilita la asistencia y coordinación de misiones de rescate e interpretación en el mar mejorando la eficiencia de las mismas (ver Digitalavmagazine).



Figura 29, captación de datos y coordinación de medios del Proyecto Perseus.

En las primeras experiencias realizadas en 2013 por este proyecto en el Mediterráneo, se realizó un ejercicio de demostración, el cual se pudo seguir en directo durante un evento de presentación de los resultados en la Dirección General de la Guardia Civil en Madrid.

Durante los ejercicios, la Guardia civil fue alertada de la presencia de una patera cerca de las costas marroquíes. Un avión de vigilancia marítima que en ese momento operaba cerca de la zona detectó rápidamente el objetivo a una distancia de 80 millas de la costa española. Las imágenes y videos tomados fueron transmitidos en tiempo real desde las estaciones de Perseus, hasta los centros de coordinación nacional y regional de la Guardia Civil, permitiendo

informar rápidamente a las autoridades marroquíes para organizar una operación de rescate de los inmigrantes.

A los pocos instantes, se recibió otra alerta de una barca que transportaba inmigrantes. En esta ocasión el avión de vigilancia, con ayudas de radares y sistemas ópticos, detectó una barca a 60 millas de la costa española. De nuevo, las imágenes fueron transmitidas en tiempo real a los centros de coordinación. La rápida identificación permitió la operación de rescate de 53 inmigrantes africanos (ver Eceuropa).

En experiencias posteriores, se utilizó un VANT de ala fija operado en modo autónomo, capaz de transportar una carga de peso de 60 a 100 kg, con una longitud de 5.5 m, una envergadura de 8 m, un alcance de 400km y una autonomía de 14 horas y varios VANT de ala fija de pequeñas dimensiones cuya finalidad es la de cubrir lugares alejados de la costa para una rápida intervención en caso necesario.



Figura 30, VANT utilizados para cubrir territorio.

Las experiencias se están realizando principalmente en el mar de Alborán, tomando como base de operaciones el Aeropuerto de Almería. Encontrando diversos inconvenientes como la poca extensión que se es capaz de cubrir con un único RPA, o las limitaciones para VANT de pequeñas dimensiones, cuyas cargas de peso no se ajustan a las necesidades reales de vigilancia de fronteras.

En la actualidad la Guardia Civil, está inmersa en diferentes proyectos de inspección con VANT, buscando sistemas económicamente viables de la inspección del territorio. El aumento de la autonomía, a la par de la disminución de tamaño y peso de los sistemas de detección, a la vez que se cuentan con software integrados más sofisticados, que faciliten la discriminación de embarcaciones sospechosas de actividades ilegales, está facilitando la posible integración en un corto periodo de tiempo de sistemas



que operen con VANT completamente autónomos, por el contrario siguen suponiendo un grave problema, las embarcaciones con grandes cargamentos de droga que cruzan el estrecho, por lo que los sistemas descritos anteriormente se deberán complementar con dispositivos humanos cuya rapidez de intervención sirva para controlar y disminuir este problema.

Por otro lado, el sistema desarrollado por Indra también puede prestar apoyo a las unidades de la Guardia Civil que intervienen en el rescate de personas en interior de las fronteras españolas, aunque por conflictos de ocupación de vehículos y localizaciones de incidencias, es conveniente dedicar nuevos recursos para dicha aplicación. Anualmente se producen más de 1.000 llamadas alertando de excursionistas perdidos o heridos en zonas de montaña o bosques, donde habitualmente debido al desconocimiento de la zona o a la inexperiencia de las personas en este tipo de medios, no son capaces de definir su ubicación de manera exacta.

Por ello, los drones se presentan como una herramienta ideal para la rápida intervención de los equipos de rescate. Deben estar equipados con una cámara infrarroja que opere con una longitud de onda comprendida entre 3 y 14 μ m por lo que cuando capten zonas calientes, solo habrá que discriminar si se trata del individuo buscado o si es una falsa alarma producida por un animal, para ello es de vital importancia equipar al dron con una cámara óptica, que posea visión nocturna para operaciones con poca visibilidad. Además los VANT utilizados deben ser capaces de transportar mochilas, medicinas o utensilios, que serán de gran ayuda en caso de que los equipos de rescate tarden mucho tiempo en acceder a la zona de rescate (ver Aeromedio).

El vuelo se desarrollará en modo manual a una altura próxima a los 300 metros, para que el piloto observe en tiempo real cualquier cambio captado por las cámaras.

Fuera de las fronteras europeas múltiples países sufren problemas similares de inmigración irregular y tráfico de drogas, siendo EEUU el país que mayores recursos invierte anualmente, para ello cuenta con más de 18.000 agentes destinados al control de fronteras y más de 1126 kilómetros de vallas que separan México de Estados Unidos. En el año 2013 comenzó a patrullar la mitad de la frontera su frontera solo con drones, cubriendo así zonas como cañones o desfiladeros alejados de los pasos oficiales y controles fronterizos, destinando a los agentes sólo a los lugares donde son necesarios (ver Noticieros).



Las aeronaves utilizadas son las Predator, se recuerda que son vehículos de ala fija, que pueden ser equipados con armamento y con la última tecnología de teledetección y radar.

Por el momento se han realizado más de 10.000 vuelos que controlan una extensión de 1.500 kilómetros principalmente en la frontera de Texas, con lo que las autoridades pueden detectar las zonas con un mayor índice de actividades ilegales, favoreciendo a la optimización de los recursos, dando respuesta al cómo y cuándo hay que enviar agentes para interceptar las actividades en una determinada zona.

Los vuelos suelen durar tres días, tras los que se comprueban los resultados del video y se contrastan con un software especializado que detecta hasta los cambios más pequeños que se hayan producido en las imágenes. Así se es capaz de detectar a inmigrantes entrando en el país de forma ilegal o controlar la entrada de coches sospechosos (ver Internacional).

Los resultados que se han obtenido son, que hasta en el 8% de los casos quedo demostrado el acceso ilegal de personas o mercancías desde México, tomando la medida de instalar nuevos puestos de vigilancia y sensores de tierra para detectar, cualquier otro intento de acceso posterior (ver Noticieros).

Tras estos resultados el gobierno ha decidido incrementar el programa a la frontera con Canadá.

Conclusiones

Estos dispositivos son por tanto una valiosa herramienta de ayuda para los cuerpos de seguridad del Estado en la detección de actividades ilegales y rescate de personas, pudiendo evitar pérdidas humanas.

Los drones son una herramienta de gran utilidad a la hora de vigilar tramos desiertos en los que no hay puestos de control y zonas de difícil acceso.

Aunque las diferentes aeronaves utilizadas son capaces de detectar minúsculos cambios en el terreno, aún queda mucho a la hora de discriminar actividades ilegales, de las que no lo son, por lo tanto los programadores del software utilizado deben incluir protocolos más sofisticados, para detectar únicamente las actividades que son denominadas ilegales en lugares alejados de la costa, para así realizar las labores necesarias para incautar el material ilícito antes de que sea desembarcado en las costas españolas.



Introducción

En este capítulo se describen algunas aplicaciones de los drones sobre el desarrollo de acciones de mejora del comportamiento de usuarios en las vías, materias de seguridad y fluidez de la circulación de vehículos. Se comentaran las posibles ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo en comparación con los medios actuales, además de los retos operativos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación económicamente viable, sin olvidar el objetivo principal de cualquier operador de carreteras como es la reducción de la siniestralidad.

En los últimos años, el desarrollo de la industria automovilística ha traído consigo un incremento del parque automovilístico mundial, fomentado principalmente por el aumento de la movilidad, la disminución de precios de los vehículos, las grandes campañas de publicidad, entre otros. Por ello los Gobiernos y autoridades competentes, se ven obligados a aumentar el gasto en infraestructuras, garantizando el correcto funcionamiento de los viales antiguos, además de desarrollar nuevas construcciones que garanticen el desplazamiento de la totalidad de los vehículos.

Para que dichos desplazamientos se realicen cumpliendo las normas previamente establecidas por el Gobierno, los cuerpos de seguridad del estado cuentan con cámaras y radares, que se utilizan para capturar infractores y vigilar las carreteras, existiendo la posibilidad de informar en un tiempo relativamente corto sobre el estado del tráfico, la señalización de un posible accidente o complicaciones por inclemencias meteorológicas. Es en este punto donde tienen cabida los VANT en esta aplicación, puesto que en los puntos de las carreteras donde no existe ningún tipo de vigilancia un dron puede aproximarse en tiempos relativamente cortos, garantizando una cobertura correcta sobre cualquier incidencia que ocurra en un vial.

Vehículos recomendados

Multirrotores.

Modo automático.

Cámara óptica.

Radar.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en el control del tráfico

Durante los últimos años la Dirección General de Tráfico “DGT”, es la encargada de operar y supervisar el control de las carreteras españolas, además de prestar asistencia a todos los usuarios de la red de carreteras, la cual cuenta con un total de 166.284Km de carreteras, de los cuales 26.124Km están gestionados por Gobierno Central, recogiendo un 52,2% del tráfico total y el 62,8% del tráfico pesado. Además existen 71.397Km gestionados por las comunidades autónomas y 68.763Km por las diputaciones (ver Fomento).

En el año 2015, en las vías interurbanas se produjeron 1.018 accidentes mortales en los que hubo 1.126 víctimas mortales y 4.843 personas necesitaron asistir a un hospital como consecuencia de las heridas sufridas. Estos datos significaron un descenso del 1% con respecto al número de fallecidos del año anterior y una disminución del 2% en el número de heridos hospitalizados. Con respecto al parque automovilístico español, cabe destacar que cuenta con más de 31.000.000 de vehículos con una edad media de 11,3 años (ver DGT).

Entre todos los datos publicados en el año 2015, cabe destacar que entre todas las vías interurbanas existen 1.314 puntos negros, más de 25.000Km, lo que supone un incremento del 12.4% con respecto al año anterior. Este aumento de puntos negros es debido al aumento de la edad del parque de vehículos y a la disminución de los costes de mantenimiento de carreteras, por parte de las administraciones públicas (ver Elpaís).



Figura 31, ubicación de puntos negros en el territorio español en el año 2015.



Por todo ello, la DGT ha decidido introducir otro método de vigilancia entre sus efectivos, a través del uso de drones. Para ello cuenta con la ayuda de la firma española Sistemas y Montajes Industriales “SISTEM”, la cual trabaja en un prototipo de avión tripulado a distancia para el control del tráfico, pudiendo estar operativo a finales del presente año.

El prototipo que se quiere emplear es un multirroto capaz de transportar una carga de peso de hasta 8 kilogramos, lo que puede significar la incorporación de diferentes baterías que aporten una autonomía de hasta 8 horas de vuelo, además incorporará una cámara óptica con sistemas de estabilización, para la correcta obtención de video en tiempo real. En cuanto a la transmisión de imágenes la DGT prevé utilizar los repetidores instalados a lo largo de todos sus viales para distancias largas, aunque estos VANT serán capaces de transmitir las imágenes captadas hasta 80Km de distancia de la base de operaciones (ver Autobild).

El uso de drones en esta aplicación proporcionaría grandes ventajas como son el fácil camuflaje, debido a su pequeño tamaño, la disminución de costes por ser un medio mucho más barato que el desplazar unidades al terreno, el actuar en un tiempo más corto, y el necesitar menor mantenimiento que los famosos helicópteros Pegasus, a la vez que sería necesaria una persona menos en su utilización, puesto que en los helicópteros se necesita una persona para manejar los mandos y otra para manejar la cámara, mientras que para el manejo del multirroto solo sería necesario un solo operario, capaz de manejar la aeronave y la cámara al mismo tiempo.

Aunque con la legislación actual, esta aplicación cuenta con una serie de inconvenientes como que el piloto, ha de tener al aparato a la vista, con lo que no es posible enviarlo a cientos de kilómetros, o la imposibilidad de volar en horario nocturno.

Así mismo estos aparatos podrían utilizarse para supervisar zonas afectadas por inundaciones u otras catástrofes naturales, para detectar averías o accidentes, seguir a transportes especiales, leer matriculas e incluso para sancionar, en caso de ser equipados con radares.

Otros países como Francia, Alemania o Estados Unidos, entre otros, también están desarrollando un prototipo que les ayude a controlar el tráfico, y en definitiva hacer las carreteras más seguras, detectando cualquier maniobra peligrosa que suponga un riesgo para los conductores y para los demás usuarios de la vía (ver Adslzone).



La aplicación de vehículos aéreos no tripulados en el control de carreteras, nace con la finalidad de prestar un nuevo servicio de vigilancia del tráfico en lugares lejanos de la red de carreteras. A medida que a estos vehículos se le incorporen nuevos sistemas como radares o cámaras de alta resolución que permitan capturar a infractores, se podrá obtener un rendimiento económico a través de sanciones.

Si se comparan con los vehículos aéreos que tradicionalmente está utilizando la DGT, obtenemos ventajas significativas en cuanto a reducción de costes de mantenimiento, costes en los equipos o costes de personal, pero también ventajas operativas relacionadas con la disminución del tamaño o la mejora de la maniobrabilidad, aunque también presenta los inconvenientes propios de los multirrotores como son las bajas velocidades que son capaces de alcanzar o la dificultad de operar ante inclemencias meteorológicas.



Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en cuestiones de control fiscal, se buscarán soluciones alternativas al control fiscal tradicional, convirtiéndose en una herramienta de precisión con la colaboración de los Gobiernos y otras instituciones, a la hora de buscar evasores fiscales.

Se describirá cómo algunos entes públicos han apostado por la inclusión de VANT a la hora de vigilar y controlar, subvenciones, aumento de patrimonio, además de otras evasiones fiscales.

A lo largo del tiempo, la gran mayoría de los gobiernos han apostado por investigar tecnologías o dispositivos que sirvan para vigilar sus territorios. Se trata en gran medida, de una serie de mecanismos que intentan controlar y disciplinar a los seres humanos, para que estos no cometan ningún delito económico.

Estos sistemas a su vez permiten asociar procesos disuasorios o de completa vigilancia, que se están intentando instaurar en las últimas décadas, donde cada vez es más frecuente encontrar micrófonos, o cámaras instaladas en cualquier rincón de una ciudad o edificio. De esta manera, el desarrollo de nuevas tecnologías aumenta la capacidad del Estado en el control de la sociedad, de igual manera, la sociedad también logra nuevos mecanismos para controlar y vigilar a quienes son sus supuestos vigilantes.

Vehículos recomendados

Ala fija.

Modo automático.

Cámara óptica y térmica.

GPS.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados relacionados con el control fiscal

En los últimos años han aparecido en la sociedad nuevas formas de vigilancia, donde las cámaras ópticas siguen siendo mayoritarias a partir de un mejor camuflaje, que permite una mayor dificultad a la hora de localizar su



posible ubicación. Los nuevos medios desarrollados permiten la interconexión, flexibilidad e integración, con otros sistemas de espionaje o modelos de reconocimiento facial, facilitando la realización de un modelo continuamente vigilado.

Las nuevas tecnologías instauradas en los recientes satélites puestos en órbita, son capaces de transmitir y captar gran cantidad de datos o imágenes precisas de la superficie terrestre y estas, pueden ser tratadas con diferentes modelos fiscales, permitiendo controlar a la ciudadanía y sus conductas.

En algunos países del sur de América, la diferencia entre la producción considerada por los contribuyentes para fines tributarios, y la información obtenida por la imagen del satélite, previamente evaluada en función de los precios oficiales determinados para cada explotación, o en función de los precios de mercados en los que el contribuyente acostumbra a operar, constituyen una base imponible de determinados impuestos.

Por ello, en Argentina, a través de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires “ARBA” se decidió emplear drones, para detectar infractores, en especial a través de posesiones inmobiliarias.

Para estas labores se obtuvo un programa de Monitoreo Estratégico Satelital Integrado “MESI” un AUV de ala fija, que cuenta con una cámara óptica, es capaz de operar en modo autónomo, su coste unitario se encuentra alrededor de los 35.000 euros. Esta aeronave tiene instalado un software que es capaz de intercambiar datos con 18 satélites de la NASA para comprobar los datos de cada domicilio o parcela, además de cruzar información con la base de datos de la Administración Federal de Ingresos Públicos “AFIP”. Tiene integrado un sistema de georreferenciación GPS, que sirve para posicionar las imágenes en el punto exacto donde se toman, a la vez que sirve para ubicar a la aeronave en un punto concreto y así poder testear los datos con otras bases (ver Nación).

El dron fiscalizador está dotado con una cámara de 16 megapíxeles, que se capaz de obtener imágenes de objetivos con un tamaño de 5 cm a 2.000 metros de altura. Cabe recordar que cuanto más bajo sea el vuelo mayor será la precisión que es capaz de desarrollar. Estas particularidades le otorgan gran precisión para analizar las características de las viviendas inspeccionadas, con un margen de error de 2 centímetros. Las imágenes que suministra complementan la información que otorgan los satélites, permitiendo sumar una nueva herramienta para profundizar el combate contra la evasión en el impuesto inmobiliario.



Figura 32, MESI.

Durante los primeros meses de vuelos, MESI fue capaz de detectar 232 casas que estaban registradas como baldíos, 200 casas con más de 250m² de superficie no declarados en el fisco, además de 100 piscinas construidas, que nunca fueron informadas por sus dueños (ver Correo).

Tras los primeros resultados la ARBA, adquirió varios dispositivos, para disminuir la evasión del impuesto inmobiliario, a partir del control, seguimiento, detección y sanción de aquellos contribuyentes que no declaran sus construcciones, remodelaciones... En la actualidad este sistema ha sido capaz de sancionar a más de 120.000 evasores que representan en la provincia de Buenos Aires el 37% de la población del país en cuanto a recaudación impositiva (ver Confidencial).

Esta tendencia a controlar a distintos sectores de la sociedad, conlleva a una búsqueda permanente de nuevos aparatos que pretenden construir nuevos modelos sociales a través del control y la vigilancia, tomando como práctica habitual el cruce de informaciones con otros sistemas de control o bases de datos, en las cuales es posible comparar archivos que contengan información de los servicios de salud, usuarios de telefonías, dueños y usos de tarjetas de crédito, registros fiscales, etc. Esta fusión informativa no sólo sirve para configurar perfiles de potenciales evasores, sino que también permite identificar comportamientos similares de contribuyentes con un alto riesgo de evasión fiscal.

El VANT junto con el software y dispositivos mencionados anteriormente están siendo utilizados por los organismos fiscales nacionales y provinciales, para observar, controlar, vigilar a ciertos sectores sociales o entidades con determinada capacidad contributiva. Estos mecanismos de vigilancia tienen por objetivo disuadir a los contribuyentes y responsables, eludir el pago de tributos a su cargo y, evitar que éstos realicen acciones que tienden a no cumplir con las obligaciones fiscales que deben cumplir. Estos dispositivos no tienen la finalidad de ejercer una vigilancia o un castigo efectivo sobre el contribuyente o responsable, sino, que por el contrario, su finalidad es



generar un sistema de datos que permita determinar cuando una persona tiene más tendencia que otra a realizar este tipo de actividades.

Son por tanto nuevos dispositivos que pretenden inducir en las personas comportamientos normales ante la permanente vigilancia a la que se encuentran sometidos, pudiendo garantizar de esta manera el correcto funcionamiento del poder tributario del que gozan los Gobiernos y otros entes recaudatorios. Por lo que todos los dispositivos y estrategias, que en la actualidad sirven para el control del cumplimiento de las obligaciones fiscales, mejorando de una forma considerable las labores de vigilancia, volviéndola más rápida, precisa y eficaz.

De esta manera se intenta inducir en el contribuyente temor a sentirse vigilado cuando en realidad no existe un vigilante en su domicilio fiscal. De este modo, la vigilancia no es ejercida por los organismos recaudatorios o por las autoridades a cargo de las administraciones fiscales, sino que es el propio contribuyente el que se vigila a sí mismo, al tener la total seguridad de que es controlado o vigilado en cualquier momento sin poder determinar nunca cuándo y cómo se produce este control o verificación.

Visto el éxito de las operaciones fiscales en materias inmobiliarias, se está estudiando extender esta práctica al de las subvenciones a la agricultura o la ganadería, estimando el rendimiento de explotaciones agropecuarias, por lo que se pueden detectar diferencias entre las declaraciones de ingresos y lo realmente percibido.

El desarrollo de esta tecnología pretende determinar la producción de los cultivos a través de la humedad del suelo, estableciendo diferentes parámetros en función del tipo de cultivo como, fechas de siembra y cosecha, estimaciones de rendimientos productivos y momentos de comercialización, entre otros datos relevantes. Para recopilar los datos necesarios, se pretende equipar al dron con una cámara termográfica adicional al equipo antes mencionado, para obtener resultados de igual manera a lo expuesto anteriormente en las aplicaciones de agricultura, integrando de igual manera las bases de datos de ARBA y AFIP, para cruzar la información obtenida en cada vuelo con las declaraciones de Ingresos Brutos y Ganancias presentadas por los contribuyentes, de manera que sea posible comparar y detectar infractores, para que estos puedan ser sancionados.

Conclusiones

Se puede concluir que los VANT son una buena plataforma para la vigilancia y el control fiscal. Los sistemas utilizados, necesitan de una gran carga



computacional y una gran base de datos, para comparar y testear todos los datos de un contribuyente.

Debido a la gran resolución que se es capaz de desarrollar, MESI capta datos muy fiables, que combinados con la gran altura a la que trabaja, hace que sea una aeronave prácticamente invisible a ojos del infractor.

Entre los inconvenientes que se encuentran en esta aplicación, son los relacionados con los vehículos de ala fija puesto que son muy sensibles a los grandes vientos originados a gran altura, no aportando la estabilidad necesaria para la captación de datos y su posterior obtención de datos. La utilización de cámaras ópticas, impiden que el VANT capte datos cuando no existe luz solar.

Además esta aplicación intenta inducir cambios en la moral de los seres humanos, teniendo como objetivo las personas que no cumplen con sus obligaciones fiscales.

El crecimiento del dron fiscalizador, se verá incrementado en los próximos años, puesto que ejerce un control muy amplio sobre los contribuyentes, por ello y visto el éxito de los resultados obtenidos, los gobiernos de los demás países, pueden implantar esta tecnología en sus territorios.



5.1.5 Vigilancia de infraestructuras ferroviarias

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en la protección de infraestructuras ferroviarias y trenes, así como los países que intentan garantizar la seguridad de las mismas, las amenazas a las que están expuestas, las ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo, o los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa económicamente viable.

En los últimos años los principales países europeos se encuentran en constante alerta por los innumerables ataques relacionados con el terrorismo yihadista. Así en el año 2004 España sufrió una de las tragedias más importantes de su historia reciente a través de los atentados del 11 de marzo en los trenes y estaciones de Cercanías de Madrid. Atentados que en los últimos dos años se han visto incrementados con los de Francia a la revista satírica Charlie Hebdo o más recientemente los ataques al aeropuerto y metro de Bruselas o el afortunadamente frustrado atentado al tren Thalys que une Ámsterdam con París, por lo que han vuelto a poner de actualidad, lo importante que es garantizar la seguridad de personas e instalaciones en los sistemas ferroviarios, sean del país que sean.

Además de los problemas relacionados con la seguridad, las infraestructuras se encuentran con inconvenientes más frecuentes por su uso como son, el mantenimiento de las catenarias o de puentes con un difícil acceso, para los que se deberán desarrollar una serie de métodos que simplifiquen la intervención humana, ahorren tiempo y dinero y no interrumpan la circulación normal de la vía.

Vehículos recomendados

Multirrotores, monorrotores y ala fija.

Modo autónomo y manual.

Cámara óptica y espectral.

Estabilizador de imagen.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en infraestructuras ferroviarias

El 10 de septiembre del año 2015 el Gobierno español aprobó un Plan Nacional Integrado de Seguridad Ferroviaria, el cual trata temas que buscan mejorar las medidas de seguridad, como la identificación de los pasajeros mediante billetes nominativos, o expandir a algunos terminales de Media Distancia o Cercanías los controles de viajeros y equipajes que se realizan en algunas estaciones de Alta Velocidad.

En el consejo de seguridad europeo se han analizado varios de los temas citados anteriormente, para intentar equiparar la seguridad existente en las estaciones de tren con la de los aeropuertos.

Se debe tener en cuenta, que el sistema ferroviario español es de los más extensos de toda Europa, incluso su red de alta velocidad es de las más extensas del mundo tras China, por lo que presenta una dificultad mayor para intentar controlar todo el sistema. Además para que la aplicación de los drones sea efectiva, estos deben proteger todas las infraestructuras frente a posibles filtraciones de elementos dañinos para la salud humana, a bordo de los trenes.

El ancho de vía puede suponer un gran inconveniente puesto que en España existen dos anchos de vías diferentes, uno de 1.668 mm que desplaza a los trenes más tradicionales como Talgos o Regionales, mientras que el ancho de 1.435 mm se reserva para la alta velocidad, que desplaza trenes modernos como el Alvia o Ave. A pesar de la diferencia en el ancho de vía, existe un denominador común a toda la red de transporte ibérica, como son las estaciones, puesto que una misma estación puede contener los dos anchos de vía. Por lo tanto a lo largo de todas ellas existen muchas vulnerabilidades, duplicidades y elementos a proteger.

Cabe destacar que el objetivo principal a proteger en los ferrocarriles e instalaciones, es la vida de las personas, por lo que para llevarlo a cabo se deben proteger todos los elementos que contribuyan al correcto funcionamiento de las redes ferroviarias, como puentes, viaductos, pasos subterráneos, entre otros, o instalaciones de las que dependa directamente el desplazamiento, como catenarias, señalización, y en general todos los sistemas de seguridad.

En cuanto a las personas que utilizan este medio de transporte. Renfe desplaza en sus trenes de Ave o Larga Distancia, a más de 30 millones de viajeros año, mientras que por su red de Media Distancia se desplazan más de 35 millones de pasajeros. Estas cifras se disparan si se tienen en cuenta a

los viajeros que concurren por los Cercanías, alcanzando algo más de 400 millones de viajeros anuales (ver Transporte y ferrocarril).

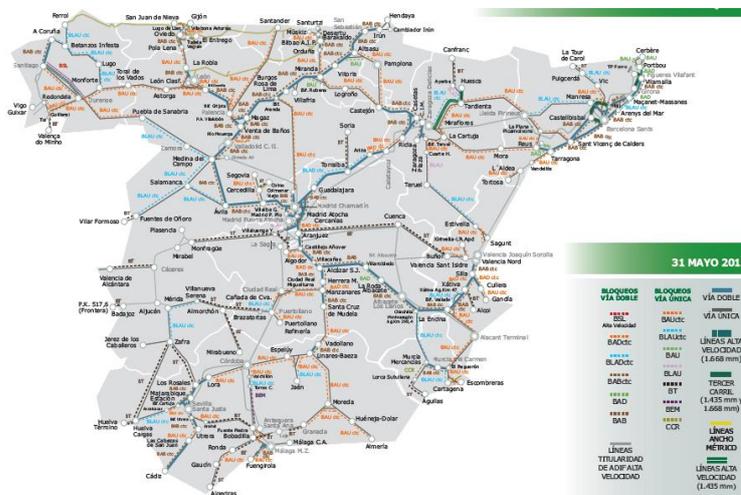


Figura 33, red de infraestructuras de RENFE y Adif.

La imagen anterior muestra alguna de las estaciones a proteger, sus accesos y salidas, los recorridos aproximados de las vías, así como las instalaciones más alejadas, como pueden ser talleres y bases de mantenimiento. En la actualidad en España existen aproximadamente 2.000 estaciones, entre las que se encuentran, 185 de alta velocidad-larga distancia, 762 de Media Distancia y más de 1.000 de Cercanías, lo que da una aproximación de la gran cantidad de infraestructuras a proteger.

En otro orden de cosas, la seguridad en aeropuertos y aeronaves se ha visto intensificada a partir de los atentados sobre las torres gemelas del 11 de septiembre del 2001. Desde entonces la totalidad de los viajeros de estas aeronaves soportan grandes medidas de control, que en algunos casos son muy estrictas, causando grandes molestias y pérdida de tiempo a los pasajeros. Mientras que el ferrocarril no ha tenido apenas restricciones, solo en algunas estaciones de Alta Velocidad existen de manera continuada controles sobre los equipajes, para la detección de armas de juego, armas blancas, elementos explosivos, u otras sustancias que puedan ocasionar daños humanos y materiales, siendo el tiempo de espera uno de los puntos fuertes de los trenes sobre los aviones.

Por lo tanto, los métodos que se emplean en la actualidad no realizan una protección del 100% de las personas, ni de las instalaciones ferroviarias en ninguno de los métodos de desplazamiento, por lo que es necesario, realizar un amplio estudio de las medidas de seguridad que se les aplican a los viajeros, para introducir nuevas aplicaciones y prácticas que eviten las molestias ocasionadas en el sistema aeronáutico y que a su vez cubran la mayor cantidad de las instalaciones existentes.

Parece evidente, que no es posible la protección de la totalidad de la red ferroviaria, equipando a cada una de las más de 2.000 estaciones con la seguridad necesaria tanto de personal, como de arcos detectores de metal o controladores de equipaje en los casi 5.000 viajes en tren que se producen cada día en los más de 15.000 Km de vías existentes en España, entre convencionales y de alta velocidad.

Por lo que ha de considerarse a la vía y los trenes como los principales vehículos e infraestructuras de los sistemas ferroviarios y por ello, tienen que tener unos niveles de protección adecuados, al igual que las estaciones y el resto de instalaciones ferroviarias que sean prioritarias para prestar el servicio.

En España cuando existe alguna amenaza que atenta contra la seguridad de la red ferroviaria, son el ejército junto con otros cuerpos de seguridad del estado quienes se encargan de la protección de las mismas, por lo que parece evidente dotar a estos cuerpos, junto con el personal contratado por RENFE del conocimiento necesario, para el control y manejo de drones.

En toda la red ferroviaria cabe distinguir entre, sistemas que deben ser objeto de protección por personas y videovigilancia, como las estaciones, y lo que es la vía y sus instalaciones que pueden ser videovigiladas desde sistemas instalados en VANT, controlados en modo manual desde tierra, o en modo autónomo con una ruta prefijada.

La implementación de drones tiene sentido cuando existen amplias extensiones o de grandes infraestructuras como las líneas, en las que existen lugares de difícil acceso, o lugares donde existe una gran probabilidad de que aparezcan irregularidades en la vía o catenaria, intrusión en instalaciones aisladas de los núcleos urbanos o como medios de primera intervención ante incidencias o accidentes.



Figura 34, multirrotor buscando irregularidades en las vías.

Cataluña es la región española que mayor número de incidencias tiene, con 475 durante todo el 2014. Este dato se hace aún más relevante cuando solo



en esa región se focaliza el 60% del robo total de cable de la red ferroviaria española, alcanzando el año pasado los 147 kilómetros de cable hurtado. De las 303 incidencias contabilizadas en Cataluña desde inicios de año hasta septiembre del 2015, 111 (36,6%) se dirigieron contra vías de alta tensión, mientras que 192 (63,4%) se focalizaron contra el resto de vías (ver Razón).

Estos datos suponen sólo en Cataluña más de 3 millones de euros anuales en reparaciones, por lo que el Gobierno español ha decidido tomar una serie de acciones como, cambiar los cables de cobre por otros de aluminio o intensificar los controles a las chatarrerías españolas, pero esta última medida no está teniendo la repercusión esperada, puesto que el cobre hurtado rápidamente es trasladado a Francia. Por lo que se ha creado una base de datos y una unidad de apoyo operativo terrestre, la cual, cuenta con varios drones que van a ser empleados para labores de vigilancia, intentando garantizar la disminución de los incidentes en las vías.

Con esto, no se quiere decir que sea la primera vez que se utilizan drones en la red ferroviaria española. En esta comunidad la empresa de Ferrocarrils Generalitat de Cataluña “FGC” ha utilizado vehículos aéreos no tripulados en tareas de mantenimiento y revisión de sus tendidos eléctricos, más concretamente, en el mantenimiento de las líneas de 25 kV, que unen las subestaciones eléctricas de las estaciones de Las Fuentes y Sant Quirze con las propias de FGC.

Entre las aplicaciones que está desarrollando ADIF se encuentran el proyecto Arid-Lap, el cual busca contribuir a realizar un correcto mantenimiento y minimizar el efecto de las inclemencias meteorológicas en los pilares de un puente situado en la línea de alta velocidad entre Málaga y Córdoba, sobre el río Cabra, cuya aplicación se realiza de una manera similar a la descrita posteriormente en el viaducto de Roquemaure.

Además de los desarrollos de RENFE y ADIF, son varias las empresas que están inmersas en diferentes proyectos relacionados con el uso de VANT en materias ferroviarias.

Así la empresa alemana Deutsche Bahn “DB”, está desarrollando un multirroto que sirva para vigilar y disuadir a los grafiteros. Este sistema tiene la finalidad de reducir los costes de mantenimiento y la consiguiente minimización del tiempo asociado al mismo. El multirroto está conectado a la central de alarmas, para que en caso de detectar alguna anomalía en el correcto funcionamiento del sistema, estas salten y avisen a la seguridad existente en la zona. Para ello cuenta con cámaras ópticas e infrarrojas que detectan presencia humana en los talleres o a través de un temporizador si detecta que un tren permanece demasiado tiempo parado en un andén,

cuando este debería continuar su trayecto. De igual manera que para el sistema español, esta aeronave sería capaz de dar una respuesta rápida tras un accidente o algún fenómeno meteorológico.

Sin embargo, la operadora pública ferroviaria francesa “SNCF”, es la pionera en la utilización de este tipo de tecnología.

A finales del año 2013, SNCF realizó los primeros vuelos experimentales de una aeronave remotamente pilotada. Esta experiencia se realizó sobre el viaducto de Roquemaure, situado en la línea de Alta Velocidad que une París con Marsella. El objetivo fue realizar una inspección completa, para mejorar el mantenimiento preventivo que se realizaba en la zona.



Figura 35, prototipo de la empresa Thales.

El viaducto de Roquemaure sobre el Ródano es una estructura de hormigón de 680 metros de largo, construida entre 1997 y 1998, que cuenta con siete pilares y dos estribos, tiene una altura de 380 metros sobre el río y soporta dos vías de alta velocidad (ver Transporte y ferrocarril).



Figura 36, multirroto tor tomando imágenes en el viaducto de Roquemaure.

La inspección y mantenimiento en el viaducto antes de la utilización de los RPAS, se realizaba a través de una grúa equipada con una cesta, situada debajo de la estructura sobre una embarcación. Con la cesta se intentaba acercar lo máximo permitido por las medidas de seguridad a los operarios, los

cuales realizaban una inspección visual, para intentar observar alguna anomalía en la estructura.

Los trabajos de inspección sobre la infraestructura, se tenían que realizar en horario nocturno, puesto que no tenía que haber circulación sobre el puente, lo que hacía que el mantenimiento se demorara durante varias noches.

La utilización de un multirroto, operado en modo autónomo, equipado con una capara óptica de gran resolución, permite realizar la inspección con luz natural sin interrumpir la circulación por la red ferroviaria, con una duración de uno o dos días.

Para la realización de las pruebas los técnicos de SNCF infra, han comparado imágenes, modos de operación y drones de tres empresas diferentes, Diades, Red Bird y Azur, cuya fiabilidad y precisión en la obtención de datos y su posterior presentación de resultados será valorada, para el diseño que una aeronave que presente las mejores características operativas (ver SCF).

SNCF Infra utiliza en la actualidad, trenes convencionales equipados con cámaras, sistemas LIDAR, equipos laser y otros sensores, para realizar la inspección y el mantenimiento de la infraestructura, que junto con la utilización de drones podrían completar modernizando los métodos y reduciendo la interrupción sobre la circulación.

SNCF Infra cuenta con un primer dron propio, el Helipse HE190, un monorroto equipado con varias cámaras ópticas, capaz de realizar imágenes en 360°, con el que se han realizado los primeros ensayos sobre el terreno, concretamente en la inspección y modelización en tres dimensiones de las paredes rocosas de Le Trayas, cerca de Saint-Raphaël, en el departamento de Var. El análisis de los datos obtenidos ha sido satisfactorio y la calidad y precisión de la información recogida por el dron es, como mínimo, igual a la de las inspecciones convencionales. Además este VANT cuenta con la ventaja de poder grabar video, mientras está realizando su vuelo (ver SCF).



Figura 37, Helipse HE190.



Conclusiones

Tras el estudio de los diferentes métodos, se llega a la conclusión de que en materias de seguridad, la instalación de arcos de seguridad y controles de equipaje en todas las estaciones y andenes, además de dotar a todas las infraestructuras de personal de seguridad, conllevaría a la eliminación de ventajas que tradicionalmente tiene el sistema ferroviario sobre el aeronáutico, además de un incremento notable del gasto. Por lo que se tienen que instaurar nuevos sistemas de vigilancia y control. Los drones serían un sistema óptimo para la vigilancia de grandes infraestructuras como vías, viaductos e instalaciones alejadas de núcleos urbanos.

Por razones de eficiencia y menor coste, se considera el no utilizar drones en grandes estaciones, puesto que es más económico utilizar el modo tradicional de cámaras fijas y personal de seguridad para la inspección de las instalaciones.

Los drones, serán utilizados para diferentes acciones adicionales como la vigilancia de los trenes estacionados en estaciones o en sus correspondientes talleres, para evitar la acción de los grafiteros, conteniendo de esta manera el coste de mantenimiento.

Las bases de estacionamiento y demás instalaciones complementarias deberán contar con la protección adecuada las 24 horas mediante video vigilancia y seguridad privada.

El uso de drones en infraestructuras ferroviarias, puede significar una importante disminución de costes y tiempo aplicado en el mantenimiento preventivo de las instalaciones, si bien la mayoría de los proyectos que se están llevando a cabo están en fase de estudio, sin que ningún país apueste claramente por el uso de esta tecnología.



5.1.6 Lucha contra incendios y emergencias

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en la lucha contra incendios, en concreto se describirán los usos y posibles aplicaciones de esta herramienta de trabajo. Se detallarán diferentes tipos de vehículos y sistemas de ayuda al vuelo, para tratar de recopilar la mayor información posible sobre el desarrollo del incendio, además de aportar algunas ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo, y los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa económicamente viable.

En los últimos tiempos el avance de las nuevas tecnologías han supuesto nuevos métodos de trabajo y componentes, que combinados con los sistemas tradicionales de trabajo, plantean nuevas opciones de rociar un líquido o de esparcir una gran cantidad de polvo en un punto programado del espacio aéreo.

Cabe destacar que los incendios forestales arrasan año tras año miles de hectáreas de bosques y cultivos en todo el mundo. Múltiples profesionales en cuanto a este tipo de incendios se refiere, plantean que el momento idóneo para aumentar la efectividad de los medios sería de noche, puesto que es cuando la temperatura ambiental y el viento disminuyen, siendo el punto más débil y el momento más preciso para atajarlo.

Sin embargo para incendios urbanos o industriales, la rapidez en la actuación de los medios terrestres es esencial, para una rápida extinción del incendio, sin provocar la propagación a inmuebles aledaños.

Vehículos recomendados

Anfibio, terrestre y aéreo.

Multirrotores y ala fija.

Modo automático y manual.

Cámara térmica y óptica.

LIDAR.

GPS.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en la lucha contra incendios

Durante el año 2016, múltiples han sido los incendios que se han producido en instalaciones industriales españolas. Por citar algunos ejemplos, el fuego producido en la empresa Fandicosta (Vigo) dedicada a la elaboración y comercialización de pescado congelado, vio afectadas el 50% de las instalaciones, con pérdidas que podrían llegar a alcanzar los 30 millones de euros, o el incendio producido en el vertedero de neumáticos de Seseña, donde se apilaban millones de neumáticos usados para su posterior tratamiento, vio afectadas más del 80% de su superficie, causando graves problemas medioambientales en la zona.



Figura 38, incendios de Fandicosta y del cementerio de neumáticos visto desde un dron.

A este tipo de conatos, cabe añadir los incendios forestales, que cada verano favorecidos por las altas temperaturas y escasa humedad, arrasan parte de los bosques españoles, a pesar de los diferentes planes de emergencias forestales aprobados a nivel nacional y autonómico o de los cientos de millones anuales destinados a la dotación de mejores medios a lo largo de todo el país.

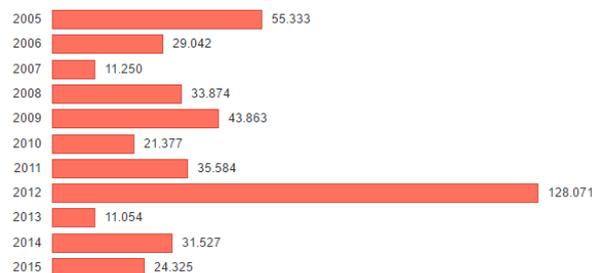


Figura 39, hectáreas de terreno afectado por incendios en los últimos 10 años.



Para la lucha de los diferentes tipos de incendios, algunas comunidades autónomas cuentan entre sus efectivos materiales con multirrotores equipados con una cámara térmica de gran sensibilidad y una cámara óptica de alta definición, además de la inclusión de un sistema GPS para georreferenciar la ubicación de la aeronave o sensores de gases para medir el nivel de gases tóxicos en una determinada zona. El modo manual de utilización es el más correcto para esta aplicación, puesto que así se capturarán imágenes o datos de los lugares que los expertos consideren como más importantes.

Entre los usos más frecuentes que se le suelen dar a esta tecnología se encuentran:

- Grabación de ejercicios: para los diferentes cuerpos de bomberos o unidades de emergencia, puesto que es vital conocer el estado de una determinada instalación antes y después de un conato, por ello, para ejercicios realizados en altura es importante disponer de planos aéreos que faciliten un rápido aprendizaje en simulacros o actividades realizadas en altura.
- Inspección estructural y comprobación de víctimas: durante la realización de una intervención, es de vital importancia conocer cómo se encuentra el estado de una infraestructura, intentando resolver cual ha sido el efecto de las altas temperaturas sobre una estructura. Con las cámaras térmicas instaladas en el dron, se puede determinar de manera precisa el estado de una determinada zona, aunque esta sea inaccesible al bombero que maneja el VANT, permitiendo así minimizar los riesgos de los medios humanos de intervención, los cuales solo tendrían que arriesgar su vida en caso de existir una persona en el interior de la instalación.
- Prevención: en la lucha contra los incendios forestales, al igual que se hace en aplicaciones de agricultura y zonas forestales mediante una cámara térmica, se pretende vigilar el estado hídrico de una determinada zona o parque natural, para así determinar los puntos más vulnerables y con mayor peligro de que se produzca un incendio, proporcionando sobre estos lugares una mayor vigilancia, y así contribuir a una correcta toma de decisiones (ver Dronespain).

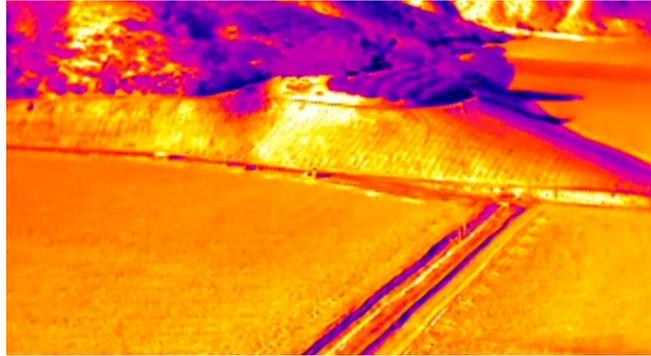


Figura 40, imagen térmica de un incendio forestal.

Pero no solo en España existen experiencias de este tipo. En Argentina cuentan con un multirrotoz llamado “Fenix 3D”, el cual mediante un modelo estadístico sobre cartografía digital realizado por el Centro Nacional Patológico “CENPAT” permite realizar estudios exactos sobre riesgos amenazas y vulnerabilidades de las diferentes zonas por las que se desarrolla un incendio (ver Losandes).

Aunque existen múltiples aeronaves desarrolladas en todo el mundo, todas tienen un inconveniente común, como es el no poder acercarse a pocos metros de un incendio, puesto que sus componentes no están diseñados para aguantar altas temperaturas.

Por lo que para proteger y aumentar la seguridad de los VANT encargados en la protección contra incendios, el equipo de investigación del Instituto Avanzado de Ciencia y Tecnología de Corea del Sur “KAIST” ha sido capaz de desarrollar un dron ignífugo llamado FAROS, para apoyar a los efectivos terrestres en la lucha contra incendios, situados en espacios cerrados.

El equipo que se emplea es un híbrido, capaz de volar y desplazarse por la superficie terrestre o por las paredes, además opera en modo autónomo o manual según se desee, cuenta con una cámara térmica que es capaz de detectar cualquier cambio de temperatura, además de un sistema LIDAR, para dotar a la aeronave de un sistema capaz de detectar cualquier obstáculo y transferir imágenes o datos en tiempo real a la estación receptora. El material empleado para su construcción es la fibra de aramida, siendo esta una fibra sintética capaz de soportar grandes temperaturas de más de 1000 °C.



Figura 41, FAROS sometido a una prueba de resistencia al fuego.

El vehículo se desplaza por medio de cuatro hélices, las cuales dependiendo del movimiento que se le quiera dar es capaz de volar ejerciendo una gran fuerza de impulsión sobre el suelo, o de deslizarse ejerciendo una minúscula fuerza sobre las paredes, facilitando un desplazamiento sin obstáculos. Además, el VANT puede encontrar el punto de inicio del fuego, debido a las imágenes obtenidas con la cámara térmica y los datos de localización obtenidos mediante GPS, siendo capaz de situar los puntos más calientes de la zona. También es capaz de reconocer a personas atrapadas o cercanas a zonas donde se están produciendo las llamas (ver Infouas).

El desarrollo de este tipo de dron, supone un gran avance de la seguridad en materias de extinción contra incendios en el interior de edificios, donde la operación de los bomberos y diferentes medios de extinción conlleva un elevado riesgo para la salud de los medios humanos, debido fundamentalmente a la toxicidad de algunos materiales al quemarse, o la rápida propagación en situaciones con gran densidad de ocupación.

La intrusión en el mercado de VANT cada vez más sofisticados, que ofrezcan un mejor comportamiento en condiciones climatológicas adversas y gran resistencia al fuego, va a contribuir a la integración de estos aparatos como medios activos en labores de extinción de incendios.

Es el caso del proyecto español Nitrofirex, un innovador proyecto, en fase de desarrollo, que busca la integración de equipos utilizados en defensa, para su posterior aplicación en la lucha contra incendios forestales, o en la intención de minimizar los efectos ante una posible emergencia atómica, química o biológica.

Para ello se propone utilizar un avión lanzador con rampa, que sea capaz de desplazar gran cantidad de carga a grandes distancias en poco tiempo. La

rampa se utilizaría para dejar caer una serie de vehículos con forma de depósitos capaces de planear y de orientarse en un modo autónomo, para que tras su lanzamiento puedan calcular los puntos adecuados de rociado o espolvoreado de su carga. Tras la suelta del agente extintor, la aeronave sería recuperada de nuevo por el avión.



Figura 42, prototipos de depósitos no tripulados.

Este sistema proporcionaría una gran precisión, además de gran rapidez puesto que este nuevo tipo de VANT detectaría el foco del incendio a través de una cámara térmica instalada en el exterior, además operaría en modo autónomo, para poder realizar la vuelta hacia la base o la nave de transporte sin necesidad de un piloto.

Se pueden distinguir 6 fases que describirían todo el proceso desde que despega de la base, hasta que vuelve a aterrizar en la misma, como son las siguientes:

- Fase 1. Lanzamiento: comprende desde el despegue del avión lanzador, hasta el momento de situarse en puntos cercanos al incendio. Una vez aproximado los depósitos planeadores son lanzados mecánicamente a través de la rampa.
- Fase 2. Planeo y guía: una vez lanzados los depósitos, planean captando datos a través de su cámara térmica. A través de un modo autónomo se aproximan al lugar exacto donde tienen que rociar el agente extintor.
- Fase 3. Descarga: una vez situado en el punto de descarga, abren las compuertas para verter con gran precisión la carga.

Una vez realizada la descarga, aumentan significativamente de altura debido a la disminución del peso, lo que ayuda a las naves a alejarse de una zona peligrosa.

- Fase 4. Recuperación: tras la descarga se activan unos pequeños motores que ayudan al equipo a escapar del incendio con mayor fluidez.
- Fase 5. Escape y recuperación: tras activar los motores los depósitos empiezan a buscar al avión lanzador a través de sensores y cámaras, que les permiten recuperarse en el interior de la aeronave.
- Fase 6. Volver a la base: una vez recuperados todos los depósitos el avión lanzador regresa a base para realizar una nueva carga de agente extintor.

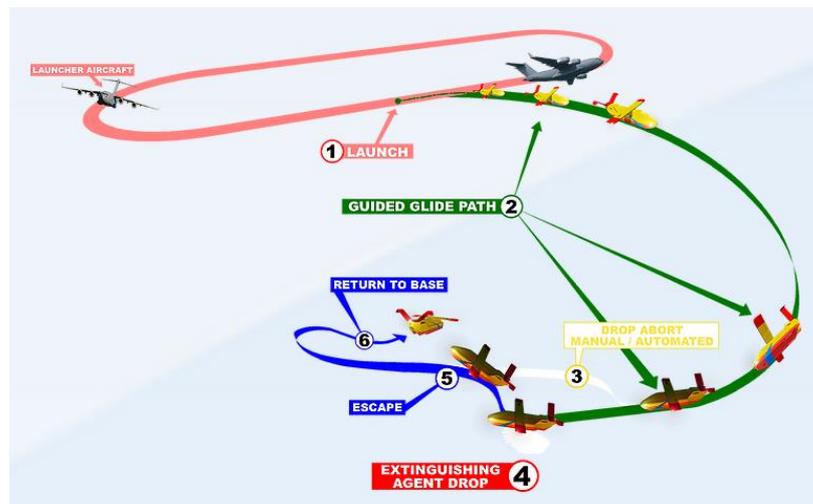


Figura 43, fases del sistema Nitroflex.

Entre las ventajas operativas de esta aplicación se encuentran la posible operación nocturna, facilitando la extinción de incendios con temperaturas y vientos menores, además de tiempos de reacción relativamente cortos, puesto que los aviones lanzadera pueden alcanzar grandes velocidades de vuelo, es independiente de la meteorología, puesto que en condiciones meteorológicas adversas también pueden operar sin poner en riesgo vidas humanas, acción concentrada con respecto al fuego, puesto que únicamente lo atacan en el foco de mayor temperatura, dotando al sistema de una gran precisión, mayor capacidad de descarga, puesto que se despliegan varios vehículos que dotan a la operación de una mayor capacidad operativa que los medios convencionales, y es de gran ayuda como apoyo a las brigadas terrestres.

Aunque su principal inconveniente podría ser su aumento de precio con respecto a los hidroaviones convencionales, hay que tener en cuenta que son varias aeronaves las que operan simultáneamente, se obtiene la ventaja indirecta de proporcionar al sistema de una mayor capacidad de descarga por hora de vuelo, disminuyendo los tiempos entre descarga y descarga. Otro de



sus inconvenientes podría ser el aumento de tiempo de carga del avión lanzadera, puesto que este tendría que aterrizar en una base, para su carga, mientras que los hidroaviones, no necesitan aterrizar (ver Nitrofirex).

En la actualidad este proyecto, se encuentra en vías de desarrollo del diseño y superficies aerodinámicas, habiéndose ya estudiado su viabilidad económica y un estudio conceptual previo.

Conclusiones

El apoyo de vehículos aéreos no tripulados en incendios tanto forestales como industriales, sirve de gran ayuda para los medios humanos de los que se dispone, puesto que son capaces de aportar gran cantidad de datos sobre el origen, propagación, riesgos, etc, para poder tomar una correcta toma de decisiones.

El desarrollo de drones híbridos ignífugos da un nuevo impulso a la aplicación de VANT en materias de protección contra incendios, puesto que dotados con la correcta tecnología, son capaces de desplazarse por el interior de una vivienda, independientemente de los obstáculos que se encuentre o de la poca visibilidad que exista.

Nitrofirex ofrece una solución, como complemento nocturno a los medios aéreos tripulados existentes, el cual puede servir como apoyo a las brigadas terrestres, pues permite descargar grandes cantidades de agente extintor sobre un incendio cuando se encuentra en el momento más débil sin poner en riesgo vidas humanas.

Este sistema ofrece una nueva alternativa, que puede cubrir un gran campo de trabajo, como es el de las catástrofes naturales, cubriendo así un amplio abanico de aplicaciones para garantizar su viabilidad económica.

Para la presentación formal de este proyecto aún no hay fecha puesto que aún está en etapas de desarrollo del producto.



Introducción

En este capítulo se describen cuál es la aplicación principal de los drones en la detección de materiales explosivos, se describirá porque los VANT pueden convertirse en una herramienta interesante para la obtención de cartografías y conocimiento del terreno, además se indicaran los beneficios que pueden aportar a la ciudadanía y los inconvenientes que pueden encontrarse en el desarrollo de esta aplicación.

Se estudiarán diferentes aeronaves y sistemas para intentar contrastar las diferentes metodologías a emplear, en los casos de ala fija y ala rotórica.

Los modelos desarrollados a continuación tienen la finalidad de salvar vidas, puesto que la mayoría de las minas que son capaces de detectar se encuentran bajo tierra, plantadas en lugares donde han existido conflictos bélicos o han sido controlados por guerrillas.

Vehículos recomendados

Multirrotor y ala fija.

Modo autónomo, manual.

Cámaras ópticas, multiespectrales e infrarrojas.

Radar.

GPS.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en detección de minas

Durante la Guerra de los Balcanes (1992-1995), numerosos artefactos explosivos fueron enterrados o abandonados, en diferentes puntos del frente de guerra. En la actualidad mueren solo en Bosnia alrededor de 15 personas al año, por explosiones originadas por estas minas. Por lo que la empresa catalana CAT VANT, ha decidido desarrollar un vehículo aéreo no tripulado para la detección y ubicación de dichos artefactos, por lo que pretenden facilitar su posterior desactivación, por parte de los artificieros del país.

Según las autoridades del país, en Bosnia quedan más de un millón de artefactos enterrados, lo que supone un grave problema para la agricultura, la

ganadería o el turismo. Junto a esta labor se encuentra la difícil situación del terreno, puesto que este en su mayoría es montañoso, con múltiples zonas boscosas, lo que sin duda produce un hándicap para la aplicación de VANT (ver Elespanol).

La aeronave Mineos, es la encargada de desarrollar esta misión. Es un VANT de ala fija el cual está equipado con cámaras ópticas e infrarrojas de alta resolución, las cuales son las encargadas de captar imágenes en el espectro visible y térmico de zonas donde existe una gran probabilidad de entrar minas u otros artefactos explosivos utilizados durante la guerra.

Cuenta con la ventaja de tener un peso inferior a dos kilogramos, por lo que le permite tener un bajo consumo y una gran autonomía. Además es capaz de operar en modo autónomo, preprogramando previamente la ruta, para ello cuenta con la ayuda de un sistema GPS, que es capaz de ubicar en cada momento al aparato y a las fotos o videos captados.

La cámara óptica es la encargada de realizar una cartografía de alta precisión sobre el terreno, mientras que la infrarroja detecta las alteraciones que producen las minas sobre el terreno (ver Onemagazine).



Figura 44, dron utilizado para la detección de minas.

El procedimiento empleado en detectar explosivos es el siguiente.

Previamente al vuelo, como ya ha sucedido con algunas aplicaciones anteriormente mencionadas, se ha de programar el vuelo, configurando una serie de puntos sobre la ruta de vuelo deseada. Los materiales explosivos al llevar más de dos décadas enterrados, han empezado a liberar ciertos productos químicos que hacen que la vegetación no crezca a su alrededor, algo muy difícil de ver a simple vista pero que es posible detectar con cámaras térmicas y multiespectrales, puesto que estas captan la vegetación en colores amarillos y verdes, mostrando las regiones sin vegetación u ocupadas con casas en rojo y las zonas potencialmente peligrosas una vez procesadas, las denota de color azul (esta configuración de colores ha sido la elegida por la empresa, no teniendo relación con la explicada en agricultura).

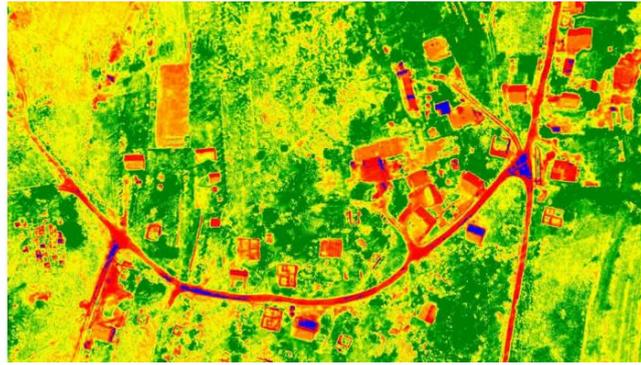


Figura 45, foto captada por una cámara térmica.

Esta empresa suele sobrevolar zonas en las que se establecieron frentes de guerra, puesto que es donde existen más posibilidades encontrar el mayor número de minas enterradas. Aunque con algunos artefactos encontrados, han encontrado un inconveniente que no se tuvo en cuenta desde el inicio, como es el arrastre de las mismas por el caudal de un río o por inundaciones lo que ha llevado a encontrar bombas en lugares donde nunca se enterraron.

Como se observa en la figura anterior, existen múltiples zonas urbanas con zonas azules, esto es debido a que las milicias serbias minaban el perímetro entero de las casas abandonadas, para que si intentaban volver los civiles al cabo del tiempo a recoger sus pertenencias, estas se detonasen.

Debido a los altos costes logísticos que tiene este sistema, causados por el desplazamiento de la unidad móvil que analiza los datos captados por la aeronave. La empresa española busca integrarlo en el Centro de Desactivación de Minas de Bosnia, y desde allí realizar las diferentes operaciones. Tarea complicada puesto que las mafias del país se están especializando en detectar minas antipersonas, las desentierran, eliminan el envoltorio y extraen el explosivo plástico con el que están diseñadas, para venderlo al mejor postor. Por lo que el gobierno ha encontrado un aliado inesperado que hace que este sistema no le sea rentable.

Otro proyecto que parte con idéntica finalidad, es el que se está desarrollando en Colombia, donde tras un acuerdo entre las FARC y el gobierno, han decidieron colaborar para desenterrar las minas antipersonas plantadas a lo largo de seis décadas de conflicto.

Según fuentes oficiales facilitadas por el gobierno, entre los años 1990 y 2015, hubo 11.120 víctimas producidas por minas antipersonas.

Tras ver estas cifras, las autoridades del país decidieron diseñar un vehículo terrestre no tripulado, que permitiera la detección y desactivación de las mismas, aunque esta tecnología demoraba en el tiempo la detección, puesto

que el terreno que era capaz de analizar era muy pequeño. En las siguientes investigaciones, se decidió fabricar un VANT, puesto que estos son capaces de barrer desde el aire una mayor cantidad de terreno, siendo necesario un menor tiempo para una misma superficie.

El vehículo utilizado es un multirrotor. Prototipo desarrollado por el Grupo de Sistemas Inteligentes, Robótica y Percepción “SIRP”, el cual en su centro cuenta con una cámara óptica de alta resolución, que permite georreferenciar el terreno e identificar patrones de ubicación, también tiene instalado un radar de penetración de tierra, que emite frecuencias, que al rebotar, señalan artefactos enterrados y una antena receptora que es capta todas las señales que rebotan en tierra (ver Javeriana).



Figura 46, multirrotor detector de minas.

Este multirrotor diseñado por SYMA y una vez cargado el software correspondiente, genera un mapa del terreno explorado, sobre el que ubica las minas detectadas.

El principal inconveniente ha sido el graduar la carga de pago, para no contrarrestar capacidad operativa al VANT, puesto que este no puede levantar su vuelo para pesos mayores a un kilogramo, por lo que se ha instalado un radar muy ligero y pequeño, aunque también más costoso.

Las primeras pruebas realizadas con la colaboración de la Universidad de Bogotá, ha obtenido unos resultado de más del 95% de artefactos detectados. Tras este éxito del proyecto, el objetivo es resolver algunos problemas obtenidos en la detección de objetos superficiales no explosivos, y dotar al sistema con una capacidad de detección en tiempo real.



Figura 47, detección mediante GPS de minas.

Por lo que este proyecto aún se encuentra en vías de desarrollo.

Conclusiones

Se puede concluir que los VANT son una buena plataforma para la detección de artefactos explosivos antipersonas. Los dos sistemas desarrollados, buscan una idéntica solución aunque empleando diferentes vehículos, ambos vehículos se ayudan de la creación de mapas topográficos del terreno, para ubicar la posible situación de una mina.

Esta aplicación necesita de una gran resolución óptica, puesto que así son capaces de detectar mínimos cambios en el terreno. El vehículo de ala fija parece una mejor opción puesto que puede trasladar una mayor carga de pago, y no necesita de sistemas radar, para la detección de artefactos, puestos que estos buscan lugares donde no crece la vegetación. Este método no se podría implantar en Colombia puesto que no todas las bombas fueron plantadas al principio del conflicto, sino que estas llevan relativamente poco tiempo enterradas.

Por el contrario la tecnología colombiana si podría utilizarse para la detección de minas en Bosnia puesto que mediante un sistema radar es capaz de detectar artefactos enterrados. Por lo que una conjunción de ambas tecnologías, supondría un AUV, que se podría aplicar en cualquier superficie y terreno independientemente del tiempo que lleve enterrado el artefacto.

Algunos inconvenientes que encuentra esta tecnología, es la forma de financiación por parte de los gobiernos puesto que no recuperan la inversión monetaria aportada. Además la intrusión de mafias en busca del explosivo plástico del que están compuestas, perjudica gravemente la financiación de estos proyectos. Por lo que hace que no sea una aplicación atractiva para la inversión pública ni privada.



5.2.1 Mantenimiento de palas de aerogeneradores

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en el mantenimiento de palas de aerogeneradores, así como los métodos, fabricantes principales o las ventajas e inconvenientes de este método de trabajo, además de los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa económicamente viable.

Para ello se debe tener en cuenta que las palas de los aerogeneradores son estructuras de fibra de vidrio reforzadas con resina de poliéster o con resinas epoxy “GRP”, las cuales son muy frágiles a impactos. El tamaño de las palas dependerá de la potencia que es capaz de desarrollar el aerogenerador, a mayor potencia mayor tamaño de palas, pudiendo llegar a alcanzar una longitud de 80 metros. Están sometidas a erosiones causadas por el polvo que arrastran las tormentas o el viento, además de torsiones y tensiones en ocasiones de gran magnitud. Si están situadas en instalaciones off-shore, los aerogeneradores están expuestos a la humedad y salitre ocasionado por el mar. Los fenómenos de ciclo génesis explosivas que parecen incrementarse en los últimos años a la par que el aumento de la temperatura media en todo el globo terráqueo, son una dura prueba para los laminados de las fibras, por tratarse de condiciones para las que no fueron diseñados inicialmente.

La reparación de las mismas es tan costosa, que puede hacer que una instalación deje de ser económicamente rentable, por lo que un correcto mantenimiento predictivo puede conllevar a detectar problemas en las fases tempranas de roturas o averías y poder ser reparados con un menor coste, sin demorar en el tiempo la reparación o desmontar ninguna pala. En esta tarea, el empleo de drones es esencial, combinando tanto sistemas de cámaras para la observación del estado, como las más diversas herramientas de hardware y software para la detección del defecto.

Vehículos recomendados

Multirrotores.

Modo automático o manual.

Cámaras de alta resolución.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en energía eólica

En todo el territorio español existe una potencia eólica instalada de 22.988MW, produciendo 47.704GWh a lo largo del año 2.015, lo que supone una cobertura de la demanda eléctrica española próxima al 20% (ver Aeolica). Por lo que parece evidente que España, al ser uno de los países con mayor potencia instalada del mundo, se puede convertir en un país de referencia en el uso de herramientas alternativas, que sirvan para mejorar la detección de roturas o defectos en aerogeneradores, para un correcto mantenimiento.

En la actualidad varias empresas operan con drones para realizar labores de mantenimiento de parques eólicos españoles. Estas aeronaves permiten obtener unos resultados más precisos que los que ofrecen los métodos convencionales de visualización como los telescopios y prismáticos utilizados desde tierra, o el descuelgue de un operario por la pala. La mayor proximidad que se puede obtener al manipular un VANT, junto con el zoom que es capaz de desarrollar una cámara de alta resolución, facilita de manera considerable la obtención de imágenes.



Figura 48, acercamiento de un multirrotor a una pala.

Por el contrario, existen algunos inconvenientes intrínsecos a la propia actividad debido a la situación geográfica de las instalaciones, puesto que estas se encuentran a gran altura o en ubicaciones donde la intensidad del viento y la generación de turbulencias en la máquina, hacen que sea una difícil tarea mantener la aeronave estable cuando está volando, produciendo un incremento de las medidas de seguridad en tierra, debido al aumento de las probabilidades de perder el control de la aeronave.

El principal inconveniente que puede encontrar esta aplicación es el económico, puesto que las aeronaves deben mostrar una mayor rentabilidad



y competitividad en comparación con los sistemas tradicionales. Por tanto, las empresas han tenido que buscar fórmulas para adaptar el equipamiento necesario a una aeronave, sin aumentar sensiblemente los costes.

La presentación en 2012 del sistema de inspección de palas Aracnocóptero EOL6 en la feria de Husum, supuso un hito en la introducción de esta tecnología española en el mercado del manteniendo de aerogeneradores. Este proyecto se vio sensiblemente impulsado por la incorporación de Iberdrola y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial “CDTI” como socios de proyecto.

Para un proceso de mapeo de un aerogenerador de 2MW, se recaba una información equivalente a 6 Gigabytes en material bruto a procesar, por lo que el número y el tamaño de las imágenes obtenidas, supone una gran dificultad a la hora de optimizar el tiempo que tienen que invertir personas especializadas en el procesamiento de la información (ver DronesUV).

Por lo que la empresa Arbórea instauró en el mercado una solución ingeniosa, a través de un software de análisis llamado Web Blade, el cual permite a las diferentes cámaras mapear la superficie completa de las palas y torres, identificando los defectos y sus grados, además de aportar de forma muy precisa y automática, el tamaño y la situación del daño, a través de un GPS instalado en el multirroto.

Entre los resultados finales que es capaz de mostrar el software, se muestra un informe que recopila todo los defectos encontrados, por lo que es capaz de ahorrar muchas horas de análisis y procesamiento de imágenes al personal especializado, teniendo que supervisar únicamente los defectos reflejados en dicho análisis. Adicionalmente, este software da la posibilidad de analizar los datos en forma estadística, pudiéndose adaptar a los estándares y criterios de las empresas o compañías mantenedoras. Las estadísticas así obtenidas permiten realizar patrones que facilitan la previsibilidad de ciertas operaciones de mantenimiento y análisis sobre la vida operacional que puede alcanzar un parque eólico.

Otro de los problemas que encarece el mantenimiento tradicional, es la inspección aérea a través del descuelgue de un operario cercano a las palas, con el consiguiente coste de la logística asociada. El nuevo multirroto EOL 6.3 desarrollado por Iberdrola y Arbórea, reduce los costes asociados a logística, puesto que debido a la reducción del tamaño, el multirroto se puede trasladar en un vehículo convencional, además disminuye el número de operarios necesarios para la inspección, por lo que el nuevo sistema solo cuenta con un operario que es el encargado de pilotar la aeronave, mientras

que los métodos anteriormente empleados en el mantenimiento se necesitaban como mínimo dos operarios.



Figura 49, multirrotor EOL 6.3

Las nuevas cámaras y GPS instalados en la versión Aracnocóptero 6.3, aumenta significativamente la velocidad de inspección de un aerogenerador, disminuyendo el tiempo de inspección a un máximo de 18 minutos, que comparado con las anteriores versiones de la aeronave, supone una disminución significativa del tiempo. En anteriores versiones, una inspección completa de un aerogenerador se prolongaba durante más de una hora. En cuanto a los métodos tradicionales, ofrece la ventaja de rotar las palas, puesto que esta aeronave dota de una gran maniobrabilidad al sistema (ver DronesUV).

Por consiguiente esta versión, reduce la logística asociada al transporte de los utensilios necesarios para la inspección, por lo que minimiza aún más la logística asociada.

Esta tecnología española, se está imponiendo en el mercado de mantenimiento de parques eólicos, al presentar una serie de ventajas en los tiempos de operación y ahorro de costes y personal, a la vez que permite un procesado de información analizable con criterios avanzados, conforme con la necesidad de inversión de este sector en el que los desarrollos españoles son una referencia mundial.



Figura 50, daño producido por un impacto sobre una pala de un aerogenerador.



Figura 51, daño producido por erosión de partículas sobre una pala y una torre de un aerogenerador.

Conclusiones

La inclusión de drones en el mercado de mantenimiento de parques eólicos, permite realizar de forma rápida, precisa y económica el mantenimiento preventivo de las palas y torres de los aerogeneradores, permitiendo realizar una inspección global de los defectos y del estado de los desperfectos a lo largo de toda su vida útil, a través de una serie de informes que facilitan la recopilación de los mismos.

La unificación de los errores y el recorte en el tiempo de mapeo, permite al operario y al personal cualificado, un significativo recorte de su tiempo de trabajo, lo que supone al propietario de la instalación, un mayor aprovechamiento de los recursos económicos existentes.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Por tanto, la introducción de AUV con unas baterías más longevas, un menor tiempo de trabajo por aerogenerador, y una mayor resistencia al viento, implicaría mejorar las ventajas, antes señaladas.



5.2.2 Mantenimiento de líneas eléctricas

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en cuestiones de mantenimiento de líneas eléctricas, se describirá porque los VANT pueden convertirse en una herramienta interesante para la gestión de instalaciones.

Las principales compañías de distribución eléctrica a nivel mundial son las encargadas de la gestión y el correcto funcionamiento de miles de kilómetros de líneas eléctricas y subestaciones, operando a diferentes tensiones y frecuencias dependiendo del lugar donde se encuentren. Instalaciones que se encuentran en continuo aumento para garantizar una mejor distribución en el lugar de consumo, por ello los gastos asociados al mantenimiento de las instalaciones implica un incremento notable del gasto anual de las compañías de distribución.

Las líneas y subestaciones tienen en general, elementos situados en altura, alejados por temas de seguridad del contacto directo de las personas. Las líneas eléctricas además, son infraestructuras lineales que pueden discurrir por entornos de difícil acceso. Además las empresas cuentan con una política empresarial de mejora continua y disminución de costes de operación y mantenimiento, por lo que los vehículos aéreos no tripulados pueden suponer una disminución significativa de costes a la par que permitan el acceso directo y cercano a los elementos de las instalaciones.

En la siguiente aplicación, se describirá como el uso de drones, permite mejorar la eficiencia de las líneas, mantenimientos más optimizados y una mejor distribución, por lo que se consigue una disminución de fallos y un aumento en el beneficio de la empresa.

Vehículos recomendados

Helicóptero y multirrotores.

Modo autónomo.

Cámaras óptica, térmica y espectral.

LIDAR.

GPS.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en el mantenimiento de líneas

El mercado eléctrico se encuentra inmerso en un entorno muy competitivo, donde las principales compañías de transmisión eléctrica a nivel mundial, deben de suministrar la energía disminuyendo al mínimo los costes asociados al transporte y al mantenimiento de instalaciones, por ello tratan de buscar soluciones para mejorar el servicio, reduciendo los costes derivados del mantenimiento preventivo de líneas eléctricas a través de nuevas tecnologías.

Los principales costes de la actividad de mantenimiento vienen determinados por, la gran cantidad de mano de obra necesaria para la inspección de líneas y por los vehículos aéreos y terrestres que sirven para trasladar a los operarios y equipos encargados de la inspección, en zonas de gran altura o alejadas de núcleos urbanos, para realizar inspecciones de reconocimiento sobre el estado de corredores, inspecciones de los perfiles de cada torre incluyendo el vano y la servidumbre asociada.

Por ello, el uso de sensores remotos, como las cámaras permiten recopilar gran cantidad de información, suponiendo un mejor aprovechamiento de los recursos, puesto que los trabajadores de mantenimiento solo tendrían que desplazarse a las zonas más desfavorables de las líneas.

Gracias a la invención de cámaras con sistemas que permiten georreferenciar los objetos observados, se pueden realizar inspecciones automáticamente, disminuyendo la mano de obra asociada al manejo de la cámara y la obtención de mejores imágenes, facilitando captar el deterioro de material para una reparación más rápida.

Aunque se debe tener en cuenta que ambos métodos tienen una clara limitación en el control de calidad, pues existe la posibilidad de que el personal no pueda hacer observaciones de ciertos puntos no captados por las cámaras, existiendo cierta incertidumbre en los resultados obtenidos.

Por lo que este tipo de inspecciones, se han visto recientemente sustituidas por inspecciones aéreas con alta tecnología (IAAT), la cual cuenta con la captación de imágenes a través de vehículos aéreos no tripulados manejados en modo autónomo. Para esta aplicación se están utilizando helicópteros no tripulados, aunque se está investigando con multirrotores de menor tamaño y peso, instalados con múltiples sensores y cámaras destinadas a tal fin.

Entre las principales ventajas de este nuevo método se encuentran, la obtención más rápida del diagnóstico de la línea, evitando los errores producidos en las inspecciones visuales, a través de la captación de

imágenes con cámaras ópticas o termográficas, que permiten visualización del efecto corona y el aumento de temperatura de puntos críticos. Por ello se producen análisis más exhaustivos en la realización del mantenimiento preventivo, con la intención de mejorar las instalaciones. Además se pueden obtener medidas muy precisas de las distancias existentes hasta la vegetación más próxima, lo que permite realizar la poda de árboles sólo en los tramos requeridos, produciendo una disminución de los costes asociados a la actividad (ver Academia).

El software utilizado para la obtención de resultados es capaz de realizar informes de cada anomalía que pudiera causar fallo por separado. Las anomalías son según las reglas definidas previamente. El sistema muestra el riesgo que se ha encontrado según el caso, definiendo las medidas de prevención o control necesarias instantáneamente.

En las siguientes imágenes se muestra el grado de detalle de los resultados obtenidos con este tipo de inspecciones utilizando una cámara óptica.



Figura 52, daño en cable guarda.



Figura 53, daños por descarga eléctrica en cable conductor y aislamiento.



Figura 54, invasion de la caja de servidumbre.

Inspección termográfica: la inclusión en los VANT de cámaras termográficas, pueden dar lugar al acopio de información en puntos calientes de la instalación, detallando la información necesaria y clasificación del fallo encontrado.

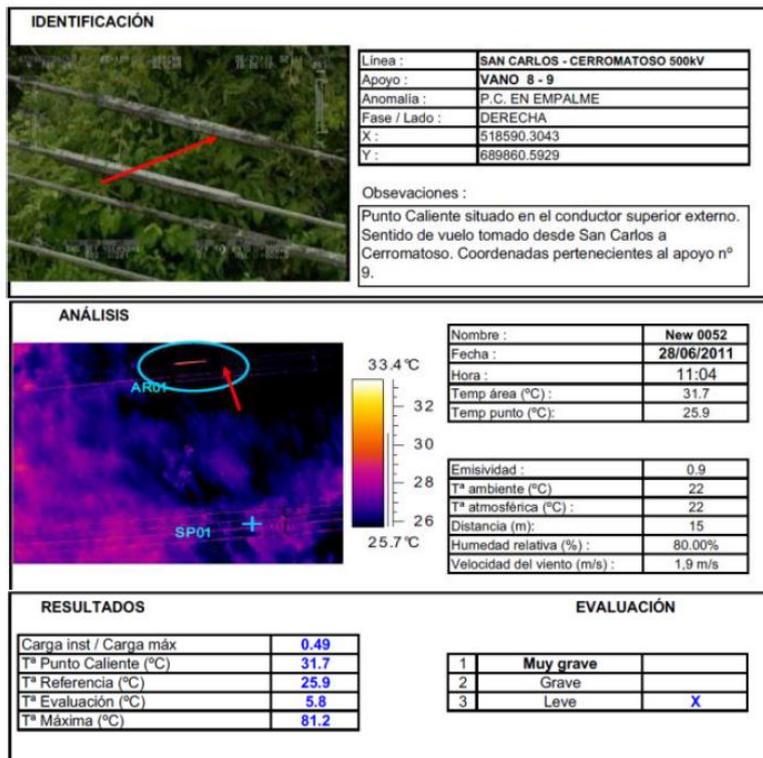


Figura 55, punto caliente leve en empalme.

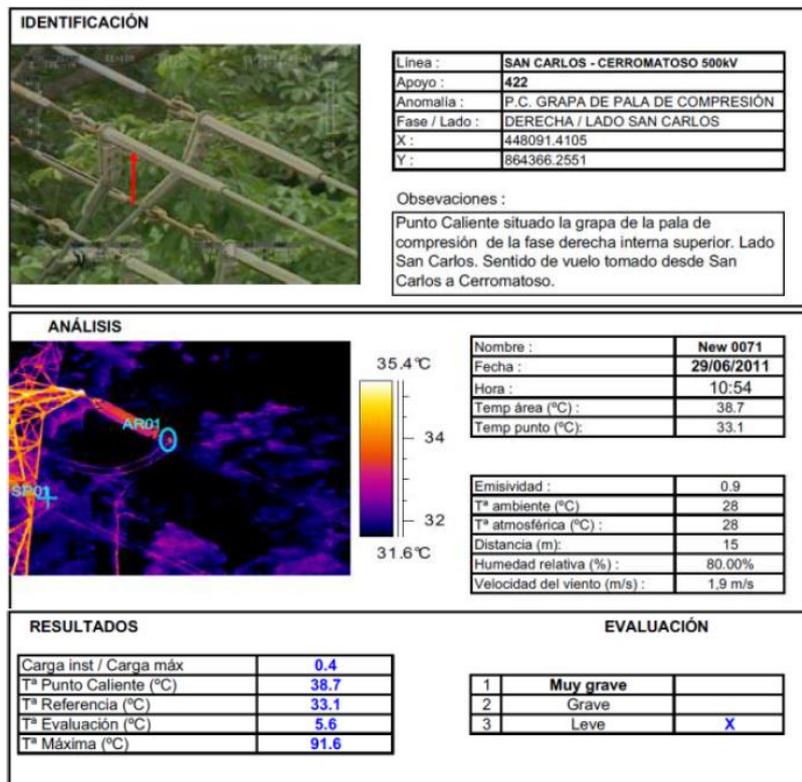


Figura 56, punto caliente leve en conexión.

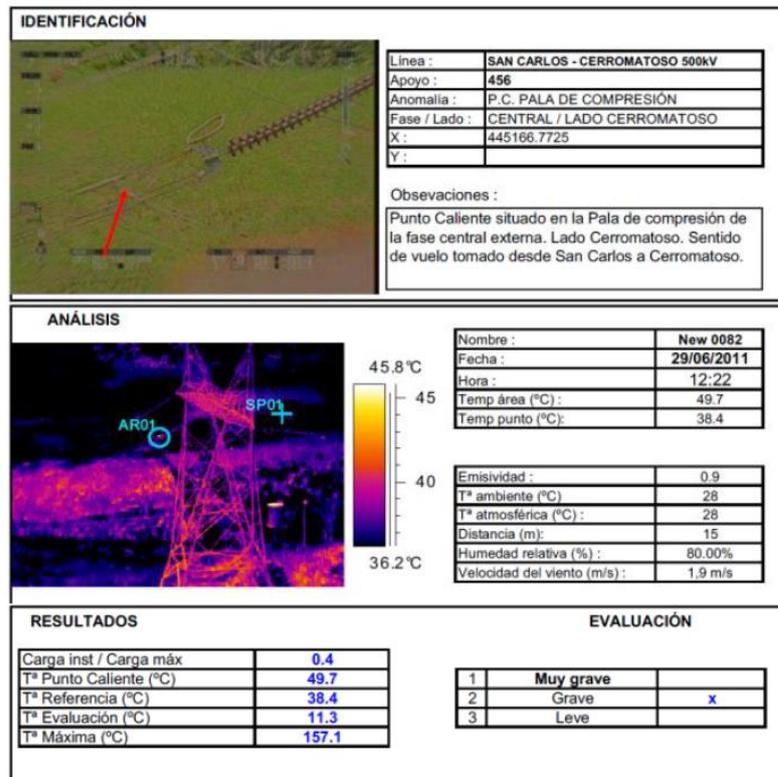


Figura 57, punto caliente grave en conexión.

Inspecciones ultravioleta: su finalidad es detectar efecto corona producido por anomalías geométricas o en campos producidos en las líneas, principalmente suelen en forma de roturas, corrosión o aumento anormal de la intensidad del campo electromagnético por deficiencias o falta del anillo corona en el extremo del aislamiento. De igual modo el software utilizado por esta empresa da información detallada del tipo de fallo.



IDENTIFICACIÓN		
	Línea :	SAN CARLOS - CERROMATOSO
	Apoyo :	VANO 16 - 17
	Anomalia :	DESCARGA CORONA
	Fase / Lado :	DERECHA
	X :	515916,0826
Y :	693145,4023	
Obsevaciones : Descarga corona sobre conductor. Posibilidad de material deteriorado. Coordenadas pertenecientes al apoyo 17.		

Figura 58, inspección ultravioleta y analisis.

Mediciones de acercamientos: son de vital importancia pues calculan la distancia de la línea a cualquier obstáculo próximo a ella, la medición se realiza a través de tecnología Láser, cuya finalidad es la realización de imágenes en 3D del terreno, incluyendo para el caso de conductores, las distancias sobre vegetación, construcciones y terreno. A través de tecnología LIDAR.

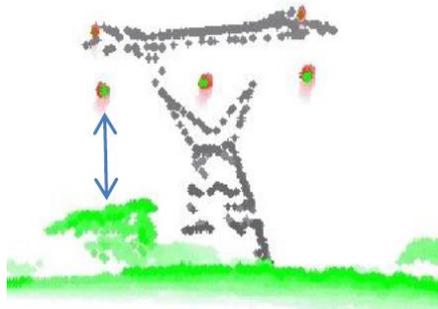


Figura 59, medición de distancias entre los anclajes y la vegetación o terreno.

La totalidad de los resultados obtenidos se tomaron en archivos compatibles con Google Earth, permitiendo localizar en cada momento la ubicación de una torre, una alerta amarilla cuando tiene distancias con riesgo medio y una alerta roja cuando el registro es alto, de acuerdo a medidas previamente establecidas en el software.

Los registros permiten ilustrar la distancia del punto medio del conductor más cercano al obstáculo más próximo.

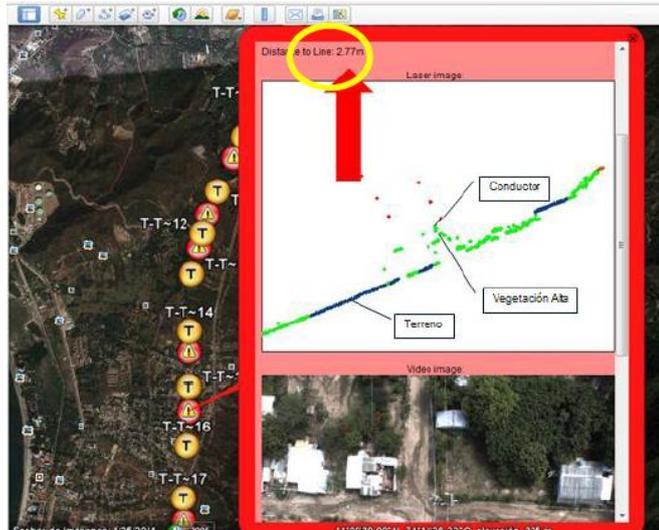


Figura 60, aplicación Google Earth, cargando los datos obtenidos por el sistema LIDAR, con el cálculo de distancias entre la línea, vegetación y terreno.

En España, la totalidad de las empresas encargadas de la distribución energética se encuentran realizando experiencias con VANT para el mantenimiento de líneas eléctricas, a continuación se describirán los avances realizados por la empresa española Iberdrola en colaboración con la Universidad de Deusto y la compañía VANT Navigation, en el proyecto Relifo.

Este proyecto consiste en el desarrollando un helicóptero no tripulado que cuenta con dos cámaras, una óptica de alta definición y otra infrarroja para las grabaciones nocturnas.

De igual manera a lo expuesto en el caso anterior, se busca poner en marcha un sistema totalmente automatizado e inteligente que detecte posibles anomalías, para su rápido mantenimiento, detectando puntos calientes, conductores en malas condiciones, ausencia de distancias mínimas, anomalías en apoyos, crucetas, aisladores y conductores, realizando los informes pertinentes de manera automática, sin requerir la presencia de un especialista, lo que supone la mayor brevedad en la resolución de la falta.

Este sistema consta de una aeronave no tripulada la cual tiene instalada una antena con emisor y receptor digital y un centro de control instalado en un vehículo diseñado y preparado para alojar tres ordenadores y cuatro pantallas de 32" que recopilan imágenes y datos.

Un ordenador controla el plan de vuelo a través de un autopiloto que envía datos e imágenes diurnas a la estación de tierra mediante una antena direccional. Esta información hace referencia a la posición de vuelo mediante el receptor GPS, altura del vehículo con respecto al suelo, velocidad de vuelo,



condiciones ambientales, parámetros de las cámaras, etcétera. Desde la aplicación de tierra pueden enviarse comandos de órdenes para variar o corregir el vuelo, pasar a modo manual o automático y controlar parámetros de las cámaras (zoom, cambio de cámara de visualización, etc.). Por lo que todos los datos y el vídeo de las imágenes diurnas son grabados en este ordenador.

Otro recibe imágenes diurnas y la telemetría para analizar online las posibles anomalías. Cabe destacar que la misma información y las imágenes son las mismas que recibe el primer ordenador, pero éste se encarga de recopilar las imágenes diurnas capturadas cada segundo. La aplicación instalada en este ordenador analiza el material audiovisual y los datos recibidos para detectar online las anomalías referentes a la distancia entre los conductores y la vegetación o edificaciones. Cada imagen en formato BMP es almacenada en este equipo.

Finalmente el tercer ordenador, recibe las imágenes infrarrojas proporcionadas por la cámara infrarroja y los mismos datos que los otros dos ordenadores. Toda la información es procesada en tiempo real y, en caso de detectar puntos calientes queda almacenada la información, para su posterior procesado.

Finalmente, mediante un proceso offline se generan automáticamente todos los informes normalizados de la inspección realizada y se almacena el vídeo, los datos de telemetría y las imágenes diurnas e infrarrojas (ver Iberdrola).

Conclusiones

Se puede concluir que las IAAR permiten identificar con claridad parte de los detalles que requieren ser observados en las inspecciones, sin embargo tienen restricciones para detectar debidamente todos los detalles necesarios para un correcto mantenimiento preventivo en las líneas, como pequeños agrietamientos, deterioro de conexiones de la compensación de tierra a la estructura o el levantamiento detallado de la corrosión en todos los componentes afectados.

Habría que tomar otras medidas para obtener mayor detalle de los defectos, incluyendo tareas más específicas en los lugares que experimenten mayor riesgo. Con inspecciones termográficas en líneas de transmisión, que permiten la detección de puntos potenciales de fallo.

Las mediciones mediante sistema LIDAR permitieron tomar acciones preventivas en puntos donde la poda de la vegetación colindante suponía un



serio riesgo para la instalación, marcando la alerta en el sistema, permitiendo disminuir el tiempo empleado en la inspección.

A diferencia de las tecnologías anteriores, el sistema LIDAR puede marcar una gran diferencia en el mantenimiento de líneas, permitiendo enfocar el mantenimiento de vegetación en zonas donde realmente se requiere atender.

Sin embargo, queda por caracterizar aquellas zonas donde el rango de vegetación esté a mayor distancia que la considerada como riesgo de vegetación cercana a la línea, pudiendo realizar estimaciones de crecimiento de la vegetación para programar podas, así no se requerirá contratar el mantenimiento de kilómetros continuos sino que solo se programará en los tramos en los que realmente se necesite, compensando el coste adicional que tiene este uso.

También queda pendiente la utilización de vehículos aéreos no tripulados, más ligeros, capaces de ofrecer los mismos resultados en vez de utilizar helicópteros no tripulados.

5.2.3 Producción de energías renovables

Introducción

En este capítulo se describe un proyecto puesto en marcha por la empresa New Wave Energy en la que se desarrolla una aplicación muy interesante a la hora de producir energía usando drones a una cierta altura.

Se buscaran soluciones operativas además de financieras, para que este proyecto sea energética y económicamente viable, deduciendo algunas ventajas e inconvenientes que se pudieran dar en el empleo de esta tecnología.

Hoy en día este proyecto puede sonar como algo futurista, por lo que se intentaran dar las suficientes razones para demostrar que actualmente se cuenta con la tecnología suficiente para su realización, además de algunos aspectos que se deben tener en cuenta para mejorarlos.



Figura 61, central termosolar de torre, y energía solar.

Vehículos recomendados

Multirrotores.

Modo autónomo.

Seguidores solares.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en la producción de energías renovables

El proyecto nace con la idea nada convencional de producir energía a gran altura, para lo cual la empresa británica, está desarrollando un proyecto de una central eléctrica, sustentada por aviones aéreos no tripulados. Los VANT serían los encargados de recoger y almacenar energía de las diferentes fuentes, para posteriormente transmitirla de forma inalámbrica a estaciones receptoras situadas en la superficie terrestre.

Este proyecto cuenta con una idea rompedora del funcionamiento actual de la transmisión de la corriente eléctrica, puesto que esta no se transmitirá por un cable conductor, si no que la transmisión eléctrica se realizará por el aire. Se debe recordar que para múltiples estudios, teoremas y aplicaciones, el aire siempre se ha considerado como un medio aislante.

Para la financiación del proyecto, esta empresa ha presentado un proyecto de crowdfunding en la plataforma Kickstarter. A través de esta página de internet, particulares financian colectivamente proyectos que les resultan interesantes. Con este método se pretenden recaudar 500.000 dólares.

El funcionamiento del sistema sería el siguiente. Una red de drones, portarían en la parte superior de la carcasa una gran cantidad de células fotovoltaicas capaces de recoger energía solar mientras que en la parte inferior se conectarían pequeños aerogeneradores capaces de aprovechar las fuertes corrientes de aire existentes en las zonas superiores de la atmosfera. Esta red estaría en constante movimiento, desplazándose a situaciones donde los rayos solares incidan de forma perpendicular a las células fotovoltaicas, sin provocar problemas de sobrecalentamiento o enfriamiento causados por las altas o bajas temperaturas existentes en diferentes puntos del planeta. Los aviones no tripulados operarían a gran altura, donde los vientos son más estables y no existiría riesgo de colisión con otras aeronaves, ni la alteración de rutas migratorias de las aves. Aunque si existirían los inconvenientes relacionados con el choque fortuito con basura espacial, procedente de restos de satélites, cohetes, o la disminución de temperaturas existentes en puntos altos de la atmosfera.

Esta tecnología se encontraría ubicada a 15.000 metros de altura, donde los aviones comerciales no volarían, puesto que estos llegan a alcanzar una altura máxima de 12.000 metros.

Para minimizar posibles riesgos, la compañía aspira a hacer uso del espacio aéreo deshabitado sobre el Atlántico, el Indico o el Pacifico.



Cada multirroto de 4 brazos, contará con varios aerogeneradores y varias células fotovoltaicas que servirían para autoabastecerse y generar un extra de energía de 50KW, que se transmitirá de forma inalámbrica a la tierra.

En la base terrestre se recibirá la energía en forma de ondas electromagnéticas y éstas se convertirán en energía utilizable. Para desarrollar esta transmisión de energía inalámbrica, New Wave Energy trabaja con la estadounidense Texas A & M University y las universidades británicas de Leeds y Cranfield.

Los creadores de este ingenio, se encuentran inmersos en la realización de un prototipo, que permita demostrar la viabilidad del proyecto, como para emplearlo en casos reales de necesidad, como pueden ser desastres naturales. Según los cálculos de la empresa, una planta de energía aérea contaría con miles de drones y podría producir alrededor de 400MW de potencia al año, lo que sería suficiente para abastecer a 205.000 hogares.

Los drones estarían queipa dos y diseñados con tecnología resistente a temperaturas extremas que tuvieran una gran durabilidad en el tiempo, para que puedan ser capaces de permanecer en el aire durante cinco años (ver Twenergy).

Una de las grandes ventajas que añade este sistema es el poco espacio que requieren en tierra, además de la posibilidad de situar este tipo de parque en cualquier lugar aéreo.

Entre sus inconvenientes, se pueden encontrar, la influencia de las ondas electromagnéticas sobre la superficie de la tierra, el saber cómo afectaría a los diferentes aparatos e instalaciones que allí se encuentran y los posibles efectos adversos sobre el cuerpo humano.

Conclusiones

Uno de los mayores beneficios que se pueden obtener es la producción de energía, puesto que como se ha visto, este sistema es capaz de producir energía las 24 horas del día, durante 5 años.

Un probable inconveniente que habría que tener en cuenta es la inercia que pueden tener los parques, en la producción de energía eólica, puesta que las alas pueden girar a la vez en la misma dirección, sentido y velocidad debido a estelas, pudiendo desequilibrar el sistema.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

De llegarse a desarrollar este tipo de tecnología, sería capaz de aportar una nueva visión del transporte de energía eléctrica, pudiendo llegar a tener múltiples avances tecnológicos de manera indirecta.



5.2.4 Agricultura y recursos boscosos

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en materias relacionadas con la agricultura de precisión y grandes masas forestales, así como las ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo además de los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa con el impacto económico que se le supone.

La agricultura de precisión es un concepto agronómico que consiste en el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de las diferentes variedades y cultivos existentes en una explotación agrícola. Para ello se utilizan herramientas tecnológicas como cámaras, sensores y sistemas, que captan y almacenan digitalmente los datos en tablas y mapas, a partir de los cuales se genera información suficiente para ayudar al agricultor en la toma de decisiones sobre las tareas a realizar.

La finalidad principal de la agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos y medioambientales, aumentando la competitividad, producción y la calidad a través de una mayor eficiencia en las prácticas agrícolas.

En general los VANT son capaces de detectar el estrés nutricional de los cultivos, lo que facilita el uso óptimo de fertilizantes y abonados, aplicándolos sólo en las zonas en las que es necesaria su utilización, siendo capaces de realizar una detección temprana de plagas, enfermedades o carencias de una planta.

Hoy en día, la mayoría de las aplicaciones operativas utilizadas, se basan en la integración de distintos tipos de sensores, que captan tanto la variabilidad espacial, como la variabilidad temporal de las fincas.

Una gran ventaja de los VANT respecto a los satélites y aviones, es el volar por debajo de las nubes que sumado a las cámaras utilizadas, produce una resolución casi milimétrica, aumentando la capacidad temporal de adquisición de datos.

Las investigaciones que se exponen a continuación muestran la idoneidad de las imágenes procedentes de VANT para discriminar y cartografiar con éxito parámetros agronómicos de alto impacto en la gestión agrícola. Los resultados logrados muestran su enorme potencialidad para el diseño de estrategias de control de precisión de malas hierbas y de enfermedades, así



como de riego, conteo de plantas o métodos de plantación en diferentes cultivos para contribuir a una gestión eficiente y localizada de los recursos.

Por último se tendrán en cuenta las similitudes existentes entre la agricultura de precisión y la conservación de los espacios naturales españoles, relacionando los procesos de fumigación de productos fitosanitarios, clasificación de los espacios naturales y posibles métodos de reforestación.

Vehículos recomendados

Multirrotores y ala fija.

Modo automático o manual.

Cámaras multiespectral, hiperespectral y térmica.

LIDAR.

GPS.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en agricultura

Se entiende como Agricultura Convencional a los métodos de producción en el que los recursos se aplican de forma uniforme en toda la superficie a tratar, sin tener en cuenta las necesidades específicas de una determinada planta, ni los diferentes factores que puede intervenir en el desarrollo de un cultivo. La principal finalidad de estos métodos es la obtención de las máximas producciones en base de una alta tecnificación y al tratamiento extensivo de los cultivos, sin prestar atención al tratamiento localizado y la conservación de los recursos naturales sobre los que se sustenta. Estos usos innecesarios de productos conllevan a un gran gasto y un agravamiento del deterioro medioambiental por agotamiento de las tierras, y por consiguiente la disminución de la fertilidad. Esto supone una consecuencia indirecta por el uso excesivo de riegos a los que se les incorpora todo tipo de abonos y nutrientes, puede conllevar a un aumento de la contaminación de suelos y acuíferos, entre otros problemas. Acentuando las diferencias existentes entre las zonas menos productivas y las más productivas, ya que toda la parcela de cultivo se maneja de igual modo y no se analizan los motivos por los que el rendimiento en esas zonas es menor. Los agricultores que siguen estos métodos anticuados asumen sin poner ningún remedio, la imposibilidad de mejorar los rendimientos de sus cultivos y de alcanzar los niveles óptimos de producción.



Como alternativa a los métodos agronómicos convencionales, nace la agricultura de precisión, como conjunto de métodos localizados y a la firme convicción de realizar los trabajos de una manera diferente. En los últimos años este tipo de agricultura ha experimentado un gran crecimiento gracias al desarrollo tecnológico y sobre todo el acceso más económico a la tecnología debido a la fuerte competencia entre las diferentes empresas. Esta tecnología busca que las explotaciones agrícolas se gestionen dependiendo de las necesidades reales de cada zona del cultivo. Es decir, se persigue solucionar el problema allí donde se produce y con ello reducir costes y tratamientos innecesarios, para así optimizar el rendimiento, mejorando la rentabilidad de los cultivos y la disminución del impacto ambiental, ya que la aplicación de agroquímicos es dirigida y ajustada a los requerimientos reales de cultivo. El fundamento agronómico de esta tecnología está basado en que en una determinada parcela se puede dividir en diferentes partes dependiendo de sus características, es decir, las decisiones acerca de cómo abordar las tareas agrícolas se toman conociendo la localización exacta de las zonas en las que hay o no infestaciones de malas hierbas, en las que existe o no necesidad de aumentar determinado fertilizante, o en las que se requiere implementar más o menos riego, por mencionar sólo algunos de los parámetros implicados en el manejo de los cultivos (ver Revistaambienta).

Los principales beneficios que se pretenden obtener de la agricultura de precisión son:

- Obtener un mayor control de cultivos (monitorizando periódicamente el estado de las parcelas).
- Detección temprana de estrés hídrico en cultivos (apostando por el manejo eficiente del agua).
- Detección de estrés nutricional en cultivos (apostando por el uso óptimo de fertilizantes en una localización concreta de la parcela).
- Detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos (tratando aquellas plantas que sean necesarias).
- Obtención de índices relativos a calidad en cultivos (realizando tratamientos que busquen el estado óptimo de producción).
- Generación de inventarios de áreas de cultivos (realizando históricos que recojan las zonas más frecuentes que necesitan algún tipo de tratamiento)
- Supervisión de áreas fumigadas (revisión periódica de zonas tratadas para determinar si se han corregido las carencias).



Para una correcta gestión localizada de los cultivos se pueden diferenciar 4 fases. Una primera de monitorización del cultivo, donde a través de sistemas de detección y mapeo se procederá a captar los datos que se deseen estudiar. En una segunda fase, se tomarán las decisiones y se elaborarán una serie de informes y mapas con los resultados obtenidos que reflejen como, cuando y donde se va a realizar una acción. En la tercera fase, se actuará en la parcela según el criterio previamente definido y por consiguiente en la última fase se revisarán los resultados obtenidos y se buscarán los resultados económicos y medioambientales para futuras operaciones similares.

Las aplicaciones que se van a desarrollar a continuación se centrarán en esta primera y segunda fase de monitorización, toma de decisiones y realización de informes.

Para ello una de las herramientas más eficaces para cartografiar las diferentes variables que afectan a un cultivo es la teledetección, la cual pretende obtener información sobre un objeto, área o fenómeno sin estar en contacto con él. Para ello, una cámara espectral alojada en un VANT, es la encargada de captar imágenes del elemento de interés que permiten su estudio. La base de la teledetección reside en la firma espectral y la resolución tanto espacial como espectral.

Cuando se trata de cartografiar un cultivo, la resolución que se desea obtener tiene que ser máxima, puesto que dependiendo del cultivo, puede ser interesante obtener resultados en etapas muy tempranas de germinación o brote, por lo que obtener un gran número de píxeles de la vegetación, puede ayudar significativamente en una correcta toma de decisiones, por eso una buena combinación entre la altura de vuelo y la resolución de la cámara a utilizar, se presentan esenciales.

Por lo expuesto anteriormente, los VANT ofrecen un enorme potencial en agricultura debido a que trabajan con total autonomía, independientemente del clima, por lo que se pueden programar los vuelos a demanda y con una gran flexibilidad en momentos críticos del cultivo, además pueden llevar a bordo cámaras con diferente rango espectral, para así generar imágenes con una elevada resolución espacial, con un tamaño de píxel que varía desde centímetros a pocos milímetros, dependiendo de la cámara y de la altura del vuelo, todo ello en función de las necesidades del usuario y la finalidad del estudio.

Estos factores tienen una gran limitación en otros tipos de plataformas, puesto que para obtener imágenes captadas por satélite o provenientes de aviones tripulados hay que ordenarlas con bastante antelación. Ello puede



ocasionar problemas de carácter meteorológico y por la particularidad propia del seguimiento de los cultivos, ya que los estados de germinación cambian con el tiempo y son con frecuencia determinantes al abordar con éxito un estudio basado en teledetección.

El principal problema existente en una explotación agrícola viene generado por la germinación de malas hierbas en época de brotes, puesto que estas también aprovechan para su desarrollo los nutrientes y la humedad existente en capas superficiales de la tierra, reduciendo de manera significativa los aportes a los cultivos, si a esto se añade la gran variedad de plantas invasoras existentes en nuestro país y la imposibilidad de arar, el problema de las malas hierbas se acentúa, por lo que se hace aún más importante un correcto tratamiento de herbicidas.

Para realizar un tratamiento localizado de herbicidas, es necesario realizar una cartografía de la finca a tratar, generando un mapa en el que se puedan diferenciar y contabilizar los diferentes tipos de malas hierbas, pudiendo así garantizar una correcta dosis a aplicar. Otros datos a tener en cuenta pueden ser la composición y densidad de las malas hierbas, puesto que se presentan de manera esencial a la hora de determinar las diferencias entre las firmas espectrales de los cultivos y las hierbas (ver Toasproject).

En este caso se pretende poner como ejemplo una cartografía que contenga las malas hierbas existentes en una plantación de maíz en una fase temprana de brote, con la finalidad de optimizar el uso de herbicidas. Se ha elegido este tipo de cultivo por tener una gran demanda hídrica, aunque de igual manera este método se puede realizar en cualquier tipo de explotación agroalimentaria, independientemente de sus demandas hídricas, tamaño, época de brote, etc.

Para esta experiencia se ha utilizado un multirrotor, modelo quadrotor md4-1000 equipado con una cámara multispectral de 1,3 megapíxeles capaz de captar imágenes en el rango visible, así es capaz de asignar un color para diferentes longitudes de onda (Rojo, 0.4-0.5 μm ; Verde, 0.5-0.6 μm ; Azul, 0.6-0.7 μm), además también capta en sus imágenes el infrarrojo cercano (Gris, 0.7-0.9 μm). Las imágenes son superpuestas por un software que incorpora algoritmos de clasificación de objetos, que unidos a las imágenes espectrales, el posicionamiento de las malas hierbas con respecto a las líneas de cultivo y otros parámetros como la forma y tamaño de las plantas, realizan una cartografía que refleja fielmente los detalles del terreno (ver Elika).

Para este tipo de cultivo, el algoritmo de clasificación, se basa en que toda vegetación que crece fuera de una hilera de plantas, es considerada mala

hierba. Esta metodología puede verse ligeramente alterada si el cultivo a tratar es arbóreo, puesto que aquí es más aconsejable establecer parámetros de distancia y tamaño de las plantas y todo lo demás sea considerado mala hierba.

El procedimiento de análisis de las imágenes y realización de los resultados, consta de las siguientes fases:

- 1) Captura de imágenes, segmentación de cada banda espectral e importación de los datos al software.



Figura 62, captura de imágenes.

- 2) Identificación de los diferentes objetos y coincidencias de las imágenes, como cultivos, malas hierbas o suelo desnudo.
- 3) Diferenciación de los objetos de vegetación mediante umbrales del índice de vegetación de diferencia normalizada “NDVI”.
- 4) Asignación de la orientación de las hileras de cultivo a partir de la dirección principal media de todos los objetos presentes en la imagen.
- 5) Clasificación de las hileras de cultivo mediante los objetos de vegetación de forma alargada que siguen la orientación del cultivo.
- 6) Discriminación de malas hierbas, cultivo y suelo desnudo en base a la información espectral, morfológica y de posición con respecto a las líneas de cultivo.
- 7) Realización de una simulación a través de una estructura mallada, donde se tengan en cuenta las dimensiones de la maquinaria, separación entre boquillas de aplicación del producto, diámetro de acción de cada boquilla, etc.
- 8) Generación de un mapa donde se tengan en cuenta los recorridos óptimos de aplicación y se dé cobertura a la aplicación de producto a la totalidad de malas hierbas.

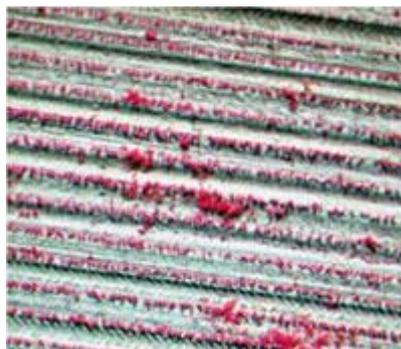


Figura 63, Detalle de la imagen formada por las bandas Verde, Rojo e infrarrojo cercano sobre la parcela de maíz.

- 9) Exportación de resultados en formatos de imagen y de tabla para su posterior análisis e integración en la maquinaria de tratamiento (ver Revistaambienta).

El procedimiento desarrollado para el caso objeto de estudio, clasificó el 100% del territorio explorado, diferenciando cuatro categorías en función de la infestación del territorio, Baja (<5%), Moderada (5-20%), Alta (>20%) y Nula cuando no existía presencia de la malas hierbas.

El software utilizado, da la opción al usuario de configurar el número de categorías que quiere controlar y su porcentaje, además puede elegir las zonas en las que quiere realizar el tratamiento, no incluyendo aquellas porciones de terreno donde no sea económicamente viable la desinfección. Además existen diferentes configuraciones en función de la maquinaria a utilizar o sistemas de tratamiento a utilizar en el control localizado de las hierbas. Los datos obtenidos en las diferentes categorías, la exactitud del método de clasificación y la superficie ocupada por infestación se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2, distinción entre la superficie a tratar.

Cobertura de mala hierba	Exactitud de la clasificación	Superficie ocupada
Sin mala hierba	98%	23%, zona sin tratar
Baja (<5%)	89%	47%, zona sin tratar
Moderada (5-20%)	84%	23%, zona sin tratar
Alta (>20%)	89%	7%, zona sin tratar

Según los criterios previamente configurados se puede concluir que el 70% de la superficie estudiada no ha necesitado ningún tratamiento de herbicida en post-emergencia y por lo tanto solamente el 30% sí ha presentado infestación de malas hierbas y requería tratamiento. Una vez determinada la superficie del campo a tratar, a modo de resumen y localización de las diferentes zonas afectadas en la parcela, se muestra la siguiente imagen.

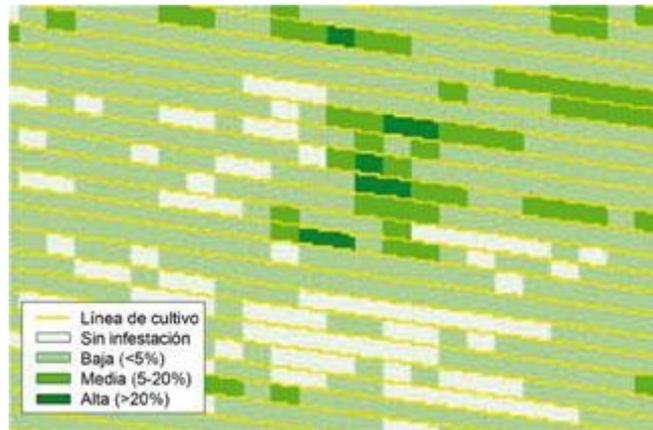


Figura 64, plano resumen donde quedan reflejadas la situación de las plantas y las zonas que presentan algún tipo infestación.

Otra de las principales preocupaciones de los agricultores viene dada por las escasas lluvias que se producen en nuestro país en determinadas épocas del año, coincidiendo con etapas críticas donde las necesidades de maduración del fruto, necesitan un mayor aporte de agua. Por ello los métodos tradicionales de riego como pueden ser por aspersión, goteo o en surcos, intentan cubrir esas carencias hidrológicas.

Cuando un cultivo tiene carencias de aporte de agua, la planta empieza a sufrir lo que se conoce como estrés hídrico, cuyo principal efecto es la disminución de la tasa de transpiración, lo que pasado un determinado periodo de tiempo provoca un incremento de la temperatura de la hoja, este fenómeno se ve agravado con las altas temperaturas y la exposición de largos periodos de tiempo del sol. Si se somete a una planta a largos periodos de tiempo de estrés hídrico, esta queda paralizada en su desarrollo, afectando directamente en el desarrollo productivo de la misma.

El aumento gradual de la temperatura puede ser monitorizado a través de la instalación de una cámara térmica en un VANT, pudiendo captar imágenes térmicas, que diferencien las plantas que se ven más afectadas por este fenómeno.

La experiencia expuesta a continuación se centra en el estado hídrico de un viñedo. Se ha elegido este cultivo por las grandes diferencias entre la temperatura máxima y mínima que es capaz de soportar, la mayor resistencia a temperaturas superiores a 40°C y por aportar España el 20% de la producción mundial de vino.

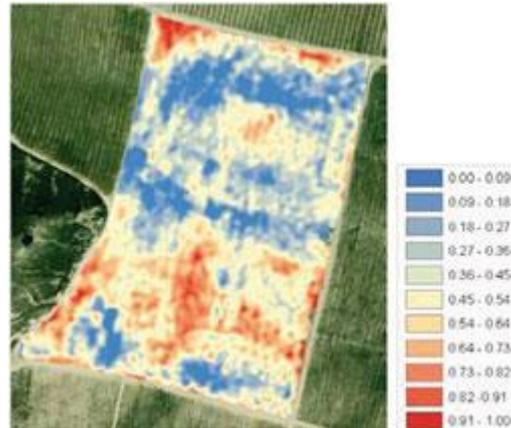


Figura 65, imagen termica para el calculo del estrés hidrico de un viñedo.

En la agricultura convencional de este cultivo, el riego se realiza controlando la totalidad de la superficie, regando por igual todo el viñedo, sin tener en cuenta la heterogeneidad espacial de las viñas, ni ningún modelo que tenga en cuenta balances hídricos, limitando de manera significativa el manejo eficiente del agua disponible. Uno de los principales problemas de estos sistemas viene dado por las aplicaciones excesivas de agua en unas zonas y escasas de otras, debido principalmente a la obstrucción de goteros, pinchazos de mangas o ramales excesivamente largos, entre otras.

También se debe tener en cuenta que el aporte de agua está íntimamente relacionado con la composición de la uva, su grado, ph, acidez, etc, que por consiguiente está relacionado con la calidad del mosto y del vino a comercializar. Por lo tanto, se necesita realizar una cartografía, que muestre la variabilidad espacial del estado hídrico de cada cepa, pudiendo programar así un riego eficiente y de forma racionalizada.

La realización de este experimento ha tenido lugar en un viñedo situado en la localidad de Raimat (Lérida), durante dos campañas de recolección consecutivas. Para la obtención de la cartografía se ha utilizado un VANT de ala fija de 5 m equipado con una cámara con una cámara térmica así como con un software que calcula el índice de estrés hídrico del cultivo y su relación con el potencial hídrico foliar. Con todo este equipo se pretende medir, la temperatura de las hojas y la del ambiente, además de la relación entre



ambas y el déficit de presión de vapor, mientras que la relación con el potencial hídrico foliar, se mide con una cámara de presión.

Para determinar la temperatura de la cubierta vegetativa de las cepas bajo distintos estados hídricos, en una zona del viñedo se realizaron dos tratamientos de riego, el primero mediante unas cepas control en el que se regó la totalidad de la superficie de estudio de manera convencional o sea, el agricultor regó la cantidad de agua que vio necesaria, en función de la cantidad de agua llovida a lo largo del año, y en segundo lugar mediante cepas estresadas, las cuales se regaron únicamente cuando se incrementaba la temperatura foliar, generalmente se regó al mediodía para rebajar esta temperatura. Asimismo, se instalaron cuatro sensores de temperatura infrarroja, de forma que se colocaron dos en cada tratamiento de riego a 1.5 m de la cubierta vegetal de las cepas. Para determinar la mejor hora de vuelo se realizaron experimentos a las 9.30, 11.30 y 14.30 a una altura de 200m sobre el suelo generándose imágenes de 30cm-píxel. Esta resolución espacial permitió obtener píxeles puros de vegetación con el fin de analizar con precisión cada cepa. Posteriormente, las imágenes se procesaron realizando un remuestreo del tamaño del píxel hasta obtener píxeles de 60, 80, 100, 120, 150 y 200 cm para determinar la resolución espacial óptima para detectar el estado hídrico.

Una vez realizadas todas las combinaciones posibles de franjas horarias y de tamaño del píxel, los resultados obtenidos muestran la relación del estrés hídrico y su potencial hídrico foliar, por lo que a horas tempranas los coeficientes obtenidos, siempre fueron inferiores a 0.5. Sin embargo para vuelos producidos en las horas centrales del día los coeficientes obtenidos rondaban el 0.7 (ver Revistaambienta).

A la vista de estos resultados, se observa que para un tamaño de píxel de 30cm, el momento del día más adecuado para determinar el estado térmico de las plantas mediante una cámara térmica, se produce alrededor del mediodía.

Para determinar si el tamaño de píxel interfiere en la obtención de los resultados, se realizó otra serie de mediciones a mayor altura, aumentando el tamaño del píxel a 60cm, las relaciones entre el estrés hídrico y su potencial hídrico foliar, disminuyeron hasta casi la mitad, por lo que se puede concluir que al aumentar el tamaño de píxel los resultados pierden exactitud, por lo que para otro tipo de plantación de tamaño más reducido sería más conveniente disminuir el tamaño del píxel.



Para realizar un correcto estado hídrico del viñedo es necesario obtener imágenes que tengan una gran resolución espacial. Tras la elaboración de la cartografía y la obtención de los cálculos de potencial hídrico es posible elaborar mapas por sectores de riego, en los que el agricultor riegue un determinado número de plantas al mismo tiempo, en vez de realizar riegos individuales planta a planta, puesto que para estos últimos, los medios a utilizar dispararían los costes de las infraestructuras a realizar y el mantenimiento de las mismas.

Si la obtención de mapas se realiza semanalmente, se puede contar con una herramienta altamente precisa para diferenciar subzonas en función de su estado hídrico, y así obtener un mayor rendimiento de la planta aumentando la calidad de las cosechas, ya que el riego se establecerá a través de los mapas obtenidos previamente.

Si bien el crecimiento de malas hierbas y el estrés hídrico, están íntimamente relacionados, puesto que al regar una explotación, se favorece a la proliferación de malas hierbas, y por tanto el incremento significativo de herbicidas y sus costes asociados. Existen otros factores como el desarrollo de enfermedades, que afectan tanto al fruto como a la planta.

Siguiendo con los ejemplos anteriores, un uso excesivo de agua puede producir en las plantaciones de maíz, afectaciones por diferentes tipos de hongos, que pueden repercutir tanto en la aparición de manchas en las hojas como en la muerte de la planta. Mientras que para las viñas un uso excesivo del riego puede producir un aumento en el desarrollo del mosquito verde, hongos como el mildiu o el brotritis, entre otros.

La siguiente experiencia trata de buscar estrategias de control localizado en patologías en un olivar. Esta plantación ha sido elegida por ser muy sensible a cambios de temperatura y humedad y por ser el principal país a nivel mundial en producción de aceitunas y aceite.

La enfermedad elegida ha sido la Verticilosis, causada por un hongo de suelo "*Verticillium dahliae*", que afecta a más de 300 especies diferentes de plantas. La infección de este hongo comienza por la raíz, hasta colonizar el sistema vascular produciendo de forma gradual un bloqueo del flujo de agua, lo que finalmente produce estrés hídrico en la planta. Los efectos en etapas tempranas pueden apreciarse a través de la aparición de manchas en las hojas y frutos, en etapas más avanzadas a través del marchitamiento de tallos y ramas, para finalizar en últimas estancias de la enfermedad con la muerte de la planta, por ello el hongo está considerado como el factor más limitante en el cultivo de olivos, pistachos, etc. Por lo que una detección



temprana de los primeros síntomas se antojan críticos, para realizar el correcto tratamiento, sanar la planta y reducir el riesgo de contagio en plantas aledañas a los focos.

Para la realización del experimento se han utilizado dos VANT, el primero de ala fija de 2m, equipado con una cámara multispectral visible de infrarrojo cercano y una cámara térmica y el segundo de ala fija de 5m en el que se instaló una cámara hiperespectral en rango visible e infrarrojo cercano, existe la posibilidad de utilizar un único dron equipado con las dos cámaras, aunque hay que tener en cuenta una carga de pago mayor.

Los estudios se realizaron en un olivar afectado con diferentes niveles de severidad de infestación de Verticilosis, desde olivos sin afectación, hasta olivos con múltiples ramas secas. Para confirmar la infección de un olivo por la enfermedad se tomaron muestras de las ramas nuevas con síntomas o sin ellos, estudiándose en base a su morfología, para determinar las ramas que están afectadas o no (ver revistaambienta).

Para establecer unos resultados correctos, se han monitorizado 4 olivos en diferentes etapas de infección establecidas visualmente, dependiendo del porcentaje de hojas o ramas afectadas con los síntomas de la enfermedad. De igual manera se han establecido 5 niveles que establezcan los diferentes síntomas de cada árbol tratado, de la siguiente manera.

- Nivel 0 sanos 0-0.5%.
- Nivel 1 primeros síntomas 1-33 %.
- Nivel 2 síntomas medios 34-66 %.
- Nivel 3 enfermedad avanzada 67-99%.
- Nivel 4 árbol seco.

En los olivos afectados se realizaron mediante los drones y otros sensores, las siguientes mediciones:

- Temperatura de las copas de los árboles.
- Conductancia estomática con un porómetro.
- Fluorescencia clorofílica con un fluorómetro.



Los resultados obtenidos con estas medidas en campo, permitieron la diferenciación de árboles sin síntomas y árboles en estados tempranos de la enfermedad.

Los vuelos se realizaron durante tres años sucesivos en primavera y verano, generando imágenes térmicas y multiespectrales con resolución espacial de 20 cm a una altura de 70m, mientras que el dron de 5m, ha obtenido imágenes hiperespectrales con una resolución espacial de 40 a una altura de 130m. Las imágenes térmicas tomadas en verano, al igual que pasaba al determinar el estado hídrico de una planta, permitieron estimar los valores de *índice de estrés hídrico* "CWSI", por lo que para estas plantaciones se podrían aprovechar los datos tomados con anterioridad, variando únicamente el software de procesamiento de datos. El CWSI era menor o prácticamente igual en los árboles asintomáticos con una tendencia ascendente según el nivel de afectación, lo que facilitó la identificación de árboles afectados de forma temprana. Por otro lado, los índices obtenidos en las imágenes hiperespectrales posibilitaron la detección de la Verticilosis en estados tempranos de la enfermedad, concluyendo ser un buen indicador para la detección de la enfermedad en fases avanzadas facilitando la clasificación según los niveles de afectación.

El software utilizado para el procesamiento de los mapas, ubica el estado de cada olivo a través de diferentes colores, pudiéndose estimar el desarrollo de hongo por el terreno. Esto supone un gran avance en el control integrado de esta enfermedad cuando aún está en sus fases iniciales, pudiéndose controlar la infección en futuros olivos.

Aunque la enfermedad elegida ha sido la Verticilosis, existen diferentes experiencias similares como la enfermedad Huanglongbing que afecta severamente los árboles reduciendo la producción, apariencia, valor económico y sabor de la fruta y del zumo, pudiendo llegar a ocasionar la muerte del árbol, o el dragón amarillo una bacteria transmitida por las moscas, que afecta a los cítricos.

Aunque no siempre que se hable de enfermedades, hay que caer en el error de creer, que estas solo son producidas por bacterias, hongos, o insectos que producen en la planta afectaciones que provocan la muerte. En los últimos años en las plantaciones y bosques del sur peninsular está aumentando el índice de mortandad, debido a largas exposiciones de estrés hídrico, por la poca hidraulicidad existente a lo largo del año hidrográfico, los altos niveles de radiación, el aumento gradual de las temperaturas y el incremento de incendios, factores todos ellos relacionados con el cambio climático, pero también se encuentran relacionados con una disminución en el contenido de



clorofila, y una reducción considerable en el proceso de fotosíntesis, provocando el aumento de la temperatura de las hojas, que posibilita la detección a través de cámaras térmicas, de igual forma a la detección del estrés hídrico expuesto anteriormente, con la salvedad de que en este caso, la disminución de la temperatura de las hojas no se puede realizar mediante riego, sino que se realizara mediante aporte de abonos y nutrientes fóliales (ver Magrama).

Por otro lado una de las aplicaciones que más interés está despertando dentro de la agricultura de precisión es el cálculo estimativo de la producción, puesto que la cantidad de dinero a percibir por el agricultor, es proporcional a la producción que es capaz de producir en sus tierras.

Hasta ahora el agricultor solo era consciente de la producción que es capaz de desarrollar, por métodos basados en la experiencia, o a través de extrapolaciones de datos obtenidos por el conteo manual de una determinada zona, para conseguir datos de la totalidad del terreno plantado, siendo estos métodos inexactos, puesto que no todos los años se producen las mismas condiciones meteorológicas, ni la hidraulicidad es la misma, ni existen el mismo número de plantas en todo el terreno.

La aplicación de conteo de plantas, busca dar una cifra exacta del total de plantas que han conseguido brotar, para conseguir hacer una estimación más fiable de la producción a conseguir. Ayudando en la toma de decisiones a realizar, disminuyendo el fracaso de las decisiones tomadas. Con estos datos el agricultor es capaz de distribuir mejor su dinero, aplicándolo en operaciones que sirvan para aumentar la calidad y cantidad de su producto, a un precio económicamente viable.

No se debe caer en el error de considerar todos los terrenos, cultivos y cosechas iguales, puesto que cada una varia de diferente forma. De igual manera no hay que considerar que existe una sola solución y la última palabra a tomar la debe tener un especialista en cada tipo de cultivo.

La plantación del cultivo se debe realizar siempre en unas condiciones óptimas de incidencia de la luz solar, para ello los cultivos se deben colocar con separaciones que permitan incidir sobre las plantas el máximo de luz incidente.

La obtención de datos se conseguirá de forma similar a las aplicaciones anteriores, primero se programa un recorrido para el vuelo, a través de un GPS, de manera que se cuenten todas las hileras de la plantación, sin repetir ninguna para evitar duplicidades.

Las imágenes serán captadas a través de video por una cámara óptica, las cuales serán procesadas por un software que capta un determinado número de hileras y es capaz de discriminar las plantas objeto de estudio de las malas hierbas existentes. Por medio de un contador (parte inferior de la siguiente figura) mostrará el número total de plantas que están creciendo en cada hilera.



Figura 66, realización práctica del conteo de plantas.

Una vez recorrido todo el terreno, se obtendrán los datos más relevantes en un informe, el cual mostrará, el número de plantas total en cada hilera, con la suma de cada una de ellas, proporcionando así una cantidad de plantas exacta, para la posterior aproximación de la producción.

El Instituto de Agricultura sostenible “CSIC”, a través de plataformas aéreas de gran autonomía y bajo costo, busca soluciones para a través de índices de vegetación y variables agronómicas, como índice de área foliar, pigmentos o estado hídrico elaborar modelos de producción fiables.

El uso de índices de vegetación, combinados con datos históricos de producción, permite realizar estimaciones de la productividad en un contexto de cambio de cultivos (variabilidad climática, diferentes métodos o clases de cultivos, etc.). Los resultados obtenidos, han mostrado valores muy precisos, al realizar una predicción de producción meses antes de recoger la cosecha, con el fin de permitir a los productores realizar ajustes en sus prácticas agronómicas necesarias en el manejo de cultivos (ver Revistaambienta2).

Para finalizar se describirán algunas experiencias que se están realizando en el cuidado, clasificación y reforestación de masas forestales, además de tratar la importancia de técnicas de teledetección en la conservación del ecosistema terrestre.

Una de las principales preocupaciones para cualquier comunidad autónoma española o para el ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente viene dada por la reducción, control y extinción de grandes incendios forestales, que cada año asolan grandes cantidades de terreno en nuestro país.



En la actualidad en casi la totalidad del territorio español, se siguen utilizando métodos tradicionales de evaluación e identificación de incendios, a través de cámaras instaladas en tierra, satélites o en aviones tripulados, si bien en los últimos años se han venido desarrollando una serie de proyectos como el Nitrofirex, anteriormente descrito o el Prometeo que a través de cámaras y sensores equipados en diferentes tipos de plataformas convencionales o en drones busca captar imágenes térmicas multiespectrales georreferenciadas en tiempo real con la ayuda del GPS, para ser tratadas en un software de toma de decisiones como el EINFOREX-DMT, que a través de otras variables como el tiempo, la forestación del terreno, la temperatura de la corteza terrestre o el grado de humedad, entre otras, es capaz de realizar una simulación que ayuda a la toma de decisiones de los expertos en extinción de incendios, en un tiempo más reducido (ver Magrama).

Aunque para una correcta extinción de los incendios forestales, obtener una precisa información sobre el estado de los bosques que contenga factores como la composición, separación entre plantas, material combustible, longevidad, etc, se hace esencial para tomar medidas preventivas, antes de que se produzca un incendio.

Por ello los sistemas de teledetección utilizando tecnología LIDAR, a partir de cámaras espectrales y ópticas instaladas en drones, permite realizar estimaciones directas de las variables anteriormente comentadas.

El Laboratorio del Territorio en colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela, lleva unos años trabajando en realizar estimaciones sobre la producción forestal en los montes gallegos, apoyándose en aplicaciones del sistema LIDAR a modelos de producción.

Las experiencias que se están realizando en la actualidad se hacen a través de masas ordenadas, ósea, a través de árboles plantados a una cierta distancia unos de otros, lo que tiene el inconveniente de solo poder sacar conclusiones de zonas replantadas recientemente, puesto que en las masas forestales más longevas de la comunidad los arboles crecen en posiciones aleatorias sin guardar ningún orden.

La captación de datos, se obtiene a través de software de conteo de plantas, anteriormente descrito, combinado con el sistema LIDAR, lo que muestra unos resultados muy exactos de producción de biomasas, longevidad de las plantas, discriminación de clases de usos del suelo, además de elaborar mapas de zonas que necesitan un temprano tratamiento, en caso de detectar algún brote de una enfermedad en una determinada ubicación. Con todos estos datos captados se realizan estimaciones que comprenden la totalidad del suelo plantado (ver Revistaambienta2).



Los trabajos realizados hasta el momento muestran que, incluso utilizando datos de baja resolución como los aportados por el Plan Nacional de Observación A “PNOA”, es posible obtener valores que se pueden aplicar a la gestión de sistemas forestales, simplificando y economizando notablemente las técnicas de inventario y la estimación de parámetros silvícolas (ver Magrama).

Para completar el ciclo de vida de una masa forestal y una vez que no se ha podido evitar la muerte del árbol, la empresa estadounidense Biocarbon Engineering, está realizando pruebas para reforestar grandes cantidades de terreno a través de la utilización de drones.

La utilización de drones para reforestar viene afianzado por la problemática existente en algunas zonas de acceder con los equipos y mano de obra necesarios para plantar una semilla, teniendo en cuenta que el proceso de siembra tradicional, puede ocupar un largo periodo de tiempo si se trata de grandes extensiones a plantar.

Esta empresa propone utilizar un multirrotozador equipado con un GPS, una cámara óptica, una cámara multiespectral y un recipiente donde guardará las semillas.

Para una correcta plantación, el dron realiza una topografía del terreno, donde recopila información del mejor enclave para ubicar la planta, respetando las distancias mínimas para un correcto desarrollo. Tras ello se calcula de forma automática una ruta para tardar el menor tiempo posible, en los procesos de plantación y recarga de semillas.

Las semillas utilizadas para este proceso, van a estar introducidas en una capsula previamente germinadas, para favorecer el agarre y el desarrollo en etapas tempranas, por lo que el dron solo tiene que recorrer la ruta prefijada y abrir el soporte para que caiga la capsula en el lugar calculado.

Mediante este método, la empresa prevé plantar alrededor de 36.000 árboles a lo largo de las 24 horas del día, ocasionando una disminución del coste de plantación del 85% (ver Todrone).



Figura 67, Proceso de plantacion mediante un dron.

Conclusiones

De las investigaciones presentadas en este apartado se puede concluir, que los resultados obtenidos varían mucho dependiendo de la resolución presentada por las cámaras con diferentes rangos espectrales, pudiendo reproducir fielmente mapas georreferenciados que muestren cualquier tipo de anomalía en un cultivo, bien sea para realizar tratamientos contra malas hierbas, contra enfermedades o abonados fóliales.

Las tecnologías y equipos agrícolas existentes en la actualidad, pueden llevar a cabo tratamientos fitosanitarios o programas de riego en base a los mapas que definen las zonas a las que hay que prestar atención.

Estos nuevos sistemas permiten aumentar los beneficios económicos de los agricultores, evitando la aplicación innecesaria de tratamientos fitosanitarios, a la vez que reducen el consumo de recursos hídricos en los campos, con la consiguiente disminución de energía eléctrica o combustible. Aunque se debe tener en cuenta que por regla general la adquisición de estas tecnologías punteras supone un sobrecoste que deberá de ser compensado por los beneficios que estas generen.

En cuanto al control de zonas forestales, añadir que la mayoría de las aplicaciones son extraídas de la agricultura de precisión, con la salvedad de que en la silvicultura existen mayores riesgos de incendios provocados por el efecto del hombre, además de que el beneficio económico extraído de estas zonas, es inferior o casi nulo del que se produce en agricultura, conllevando un encarecimiento de la actividad. Lo que supone la infección o el deterioro de extensos territorios por no ser tratados en el momento indicado cuando las infecciones o carencias se encuentran localizadas.



Por último ratificar, que para esta aplicación se han desarrollado experiencias contrastadas en diferentes cultivos. Lo que no quiere decir que estos métodos, sólo se utilicen para el control de la variedad desarrollada, sino que estas aplicaciones se pueden desarrollar de manera similar, variando los rangos de la toma de datos, para todos los cultivos existentes. Para dar una mayor relevancia a esto, se han buscado ejemplos de las variedades más utilizadas en nuestro país.



Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en la ganadería, así como las ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo, los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa con el impacto económico que se le supone.

En la actualidad la búsqueda continua de la calidad de la carne y de la leche, obliga a los ganaderos a encontrar nuevos territorios donde la hierba sea de una determinada calidad o en la que no existan diferentes plantas, que produzcan sabores no deseados, además el uso excesivo de fertilizantes y herbicidas, por parte de agricultores, conlleva a la ingesta de estos componentes por los animales y por consiguiente la inclusión de componentes químicos en el organismo de las reses.

Para ello se describirán los posibles métodos que son capaces de aplicar los VANT, en materias de calidad de pastos, pastoreo, y contabilización de reses, ayudándose de algunos sensores y cámaras, que intentan captar la variabilidad temporal de los pastos y la variabilidad espacial de los terrenos.

Otra de las posibles aplicaciones que se pueden dar en ganadería y en el control de fauna es la utilización de VANT como plataforma de observación adecuada para la adquisición de imágenes térmicas sobre ámbitos agrarios, cinegéticos o en el control de parques naturales, y la estimación del número de individuos de una determinada población.

Vehículos recomendados

Multirrotores.

Modo autónomo y manual.

Cámara óptica, térmica y multiespectral.

Estabilizadores de imagen.

Estabilizadores de vuelo.

GPS.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en ganadería.

Los primeros avances que se están realizando en materias ganaderas en nuestro país, están siendo desarrollados por Inertia Drone. Esta empresa propone la inclusión de estas aeronaves en labores de pastoreo, con el objetivo de facilitar la labor del pastor y de los perros que cuidan los rebaños.

Las experiencias se están realizando en la sierra de Loja (Granada) con la colaboración de municipios cercanos, siendo la oveja ovina la raza objeto de esta aplicación. La elección de esta raza de oveja tiene la finalidad de promover la recuperación de la especie, puesto que las ovejas ovinas se encuentran en peligro de extinción.

La inclusión de VANT en labores de pastoreo busca eliminación de los ladridos del perro pastor, a través, del zumbido que producen los motores en el desplazamiento, incorporando una ventaja significativa, como es la rapidez de respuesta, debido a la gran velocidad que es capaz de desarrollar en un corto espacio de tiempo, o el aumento de altura para ser casi imperceptible su sonido en la superficie terrestre.

Estas ventajas quedan aún más de manifiesto, cuando el terreno en el que se desarrollan es escarpado, con múltiples pendientes, propiciando la difícil movilidad del ser humano, por lo que en múltiples ocasiones la honda del pastor no alcanza y menos aún el ladrido del perro. Por lo que el ganadero opta por restringir el acceso de los animales a zonas de pastoreo virgen.

Este estudio propone controlar a las ovejas a través del zumbido que producen los multirrotores de 6 u 8 motores, puesto que así se potenciará el ruido a producir. De un modo más útil, la aeronave será controlada por el pastor, situándola a un metro por encima de las ovejas, para que estas reaccionen y se muevan en sentido contrario. Se debe tener la consideración de sobrevolar el grupo siempre por su exterior, puesto que si se introduce en el grupo, las ovejas tenderán a separarse en direcciones no deseadas.

Al pastorear con drones el pastor no tiene que moverse del lugar, puesto que existe la posibilidad de equipar a estas aeronaves con cámaras, que a través de ondas wifi, mandan la señal en directo al equipo de visión. Esta incorporación puede suponer más reticencias a los pastores más veteranos apegados a los métodos tradicionales, pero esta tecnología podría tener el incentivo de que los jóvenes se empiecen a interesar por el mundo de la ganadería.

Consiguiendo así enlazar un eslabón muy importante que en los últimos tiempos se había visto deteriorado, como es la inclusión de nuevas generaciones a este método de trabajo, aportando una mayor sostenibilidad,



protección y conservación de la raza ovina y de las zonas donde se desarrolla la industria agroalimentaria (ver DiarioNavarra).

En ocasiones, especialmente cuando se trata de fincas con grandes extensiones de terreno o extensiones con una alta densidad animales, como cotos de caza o parques naturales, tener un control de la población de animales en ciertas épocas del año, se hace esencial.

Para ello, disponer de una correcta información se hace imprescindible para saber el número exacto de la población de seres vivos y el estado de conservación en la que se encuentra, para así poder tomar las medidas necesarias para la conservación del medio y de las especies, pudiendo obtener la suficiente información para regular adecuadamente la población en cada explotación.

Para obtener dicha información sobre los censos, convencionalmente se ha recurrido a realizar esperas en comederos, bebederos o itinerarios, para de manera manual contar los animales que transcurren por estos lugares. Estos métodos no son del todo exactos, puesto que no todos los animales utilizan las mismas rutas o se alimentan de plantas u otros animales sin necesidad de hacerlo en un comedero.

En la actualidad existen métodos complementarios para la identificación de especies y su conteo, como la teledetección, cuyos datos como ya se ha explicado en aplicaciones anteriores, se obtienen a través de diferentes cámaras instaladas en un dron.

El desarrollo y captación de datos de esta aplicación se ha realizado en un coto privado de caza de la finca las Navas (Córdoba), cuenta con una superficie de 725 hectáreas. Se ha elegido un coto privado de caza de venados, por generar esta actividad un volumen de negocio superior a 3.600 millones de euros en nuestro país.

Las imágenes fueron captadas a través de una aeronave de ala fija, dotada de GPS para precisar la posición de las capturas fotográficas y cámara térmica para obtener cualquier variación térmica (ver JuntaAndalucía).

Previo al vuelo se determinó con el software utilizado una trayectoria que cubriera todo el territorio y una altura de vuelo, para que este de manera automática, posicione la ubicación más correcta de captura de fotos. Además se decidió que un tamaño adecuado de pixel para la correcta detección de reses estaba comprendido entre 15 y 20cm, consiguiéndolo con una altura de vuelo de 50m.

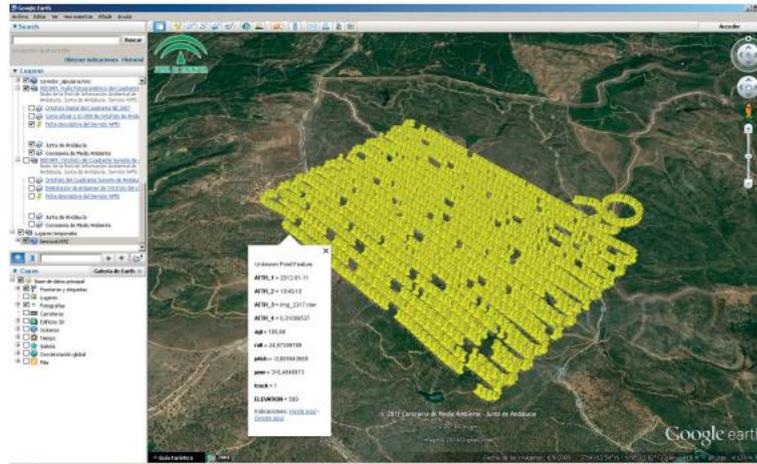


Figura 68, posicionamiento de las imágenes tomadas vía GPS.

Durante el vuelo aparecieron desajustes entre la velocidad de vuelo, cámara y GPS, provocando la asignación incorrecta de posiciones de las imágenes y por tanto, dificultando la georreferenciación a través del software, quedando zonas sin cubrir al existir múltiples saltos de posición, como se puede ver en la figura anterior. Estos desajustes se han visto agravados por la utilización del GPS en modo absoluto en vez de relativo, puesto que han existido ubicaciones superpuestas, que en realidad no lo eran.

Tras el vuelo y la captación de 2500 imágenes en bruto con tamaño de 640x480, el software debe realizar una correcta georreferenciación, que reproduzca lo más fielmente posible la totalidad de la superficie objeto de estudio a través de los datos captados, para su posterior tratamiento.

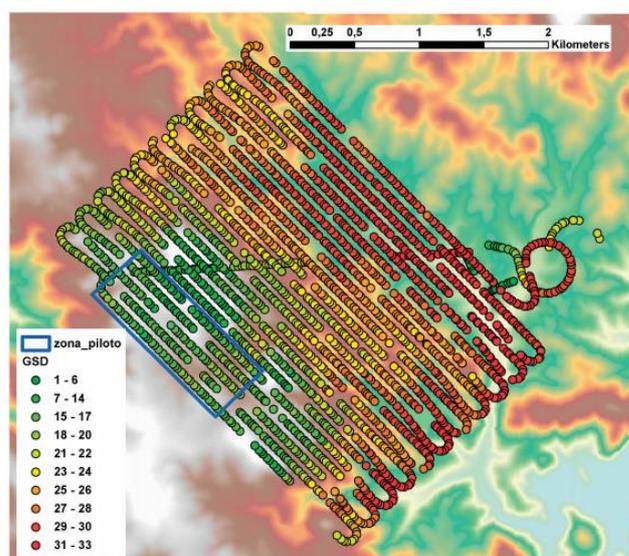


Figura 69, control geométrico del vuelo.

Para corregir los fallos encontrados en la georreferenciación, se efectúa un control de la geometría del vuelo, analizando la escala, tamaño del pixel, distancias longitudinales y transversales entre las imágenes y altura de vuelo.

A partir de las posiciones GPS, orientación de pasadas y datos calculados en el control geométrico se puede llevar a cabo una georreferenciación aproximada que permita una interpretación visual de las imágenes. Este método de proceder es similar al cartográfico descrito posteriormente, si bien es más dificultoso, por existir inexactitudes a la hora de obtener los datos por los diferentes sensores utilizados. En este sentido se ha seleccionado una superficie de control, rectángulo azul de la figura anterior, en donde la interpretación de imágenes sea “adecuada”, para garantizar que lo obtenido por las imágenes representa fielmente el terreno, se verificó la zona presencialmente.

Toda la zona que delimita el rectángulo azul, está compuesta por 153 imágenes distribuidas por las 5 pasadas realizadas por el dron

Para ello se han seleccionado las imágenes que cubren la superficie de control seleccionada (153 fotogramas distribuidos en 5 pasadas). Hay que tener en cuenta que el dron no contaba con estabilizadores de vuelo y que la cámara utilizada tampoco tenía estabilizadores de imagen, por lo que la imagen obtenida no se va orientando a las características del terreno.



Figura 70, diferencias posicionales y limitaciones geométricas de la imagen georreferenciada (elementos en rojo), en comparación con la fotografiada (verde).

Las diferencias que claramente se hacen evidentes en la imagen anterior, vienen motivadas por la mala georreferenciación de las imágenes y por las limitaciones propias de la perspectiva cónica, los errores pueden alcanzar en algunos casos decenas de metros. Sin embargo, para contabilizar reses este defecto es insignificante puesto que no interesa tanto la posición de los elementos, si no el número y tamaño de animales encontrados, que ocuparan una superficie similar aparezcan en la imagen que aparezcan.

Debido a las limitaciones de las imágenes de partida y las abundantes duplicidades, se ha tomado la decisión de realizar un mosaico de las imágenes georreferenciadas con el objeto de comprobar que se puede trabajar directamente sobre el mosaico para la identificación de fauna mediante un tratamiento digital y su posterior clasificación (ver JuntaAndalucía).

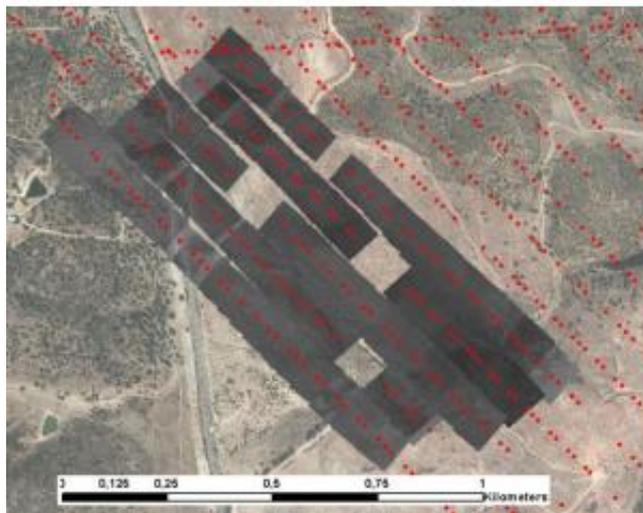


Figura 71, mosaico de imágenes captadas por un VANT.

Una vez se tienen las imágenes individuales y el mosaico, solo queda identificar los posibles venados existentes en la finca, para ello se ha utilizado el software ENVI, el cual a través de un filtro de textura, eliminan diferentes frecuencias que no desprenden ninguna fuente de calor, por lo que sólo nos mostraran objetos térmicamente activos. Tras esto, se realiza una clasificación comparando los dos tipos de imágenes.

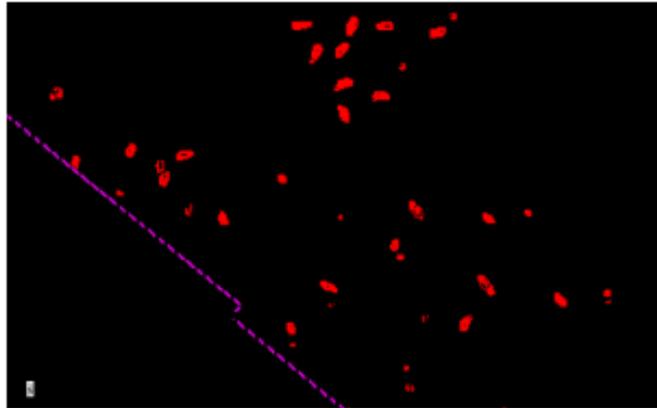


Figura 72, se muestran resultados de localización de individuos potenciales en el mosaico.

Como ya es sabido los drones pueden tener incorporadas varias cámaras, por lo que si a este sistema se le incorpora una cámara óptica, nos ayudará a la hora de afirmar si existe alguna duplicidad en el ganado o algún error de verificación.

A partir de tratamiento digital se han localizado una serie de elementos que potencialmente pueden tratarse de animales. Sobre la siguiente figura aparecen en verde los elementos seleccionados como probables y en rojo aquellos que no son probables (errores debidos a diferentes factores).

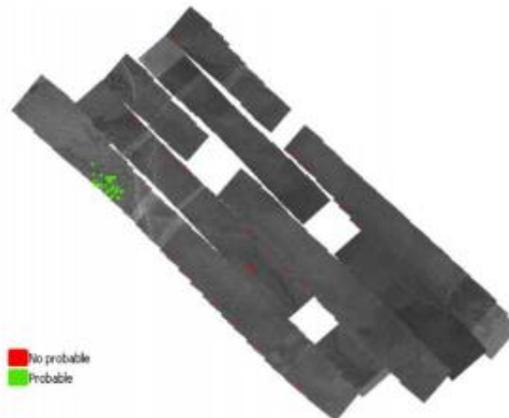


Figura 73, resultados aportados por el software ENVI.

Tras la obtención de los resultados y contrastándola con gente experta de este tipo de res, se confirma la presencia de una manada de venados, mientras que la presencia de animales sueltos repartidos de manera periódica a lo largo de todo el mosaico puede concluirse que pueden ser debidos a errores de calibración o de simultaneidades de imágenes (ver JuntaAndalucia).

Con un vehículo similar, añadiendo los diferentes estabilizadores se podría realizar el conteo en tiempo real de una determinada especie mediante video. De igual manera se necesitaría un buen posicionamiento GPS para posicionar al dron en modo autónomo en unas determinadas coordenadas a seguir, dejando así menos superficie sin cubrir y una placa controladora que sea capaz de realizar diferentes acciones al mismo tiempo. Cabe destacar que aunque se utilice este sistema también existen los problemas de duplicidad encontrados en el método fotográfico, puesto que los animales están en constante movimiento el video nos proporcionaría una imagen más compacta.

Asimismo convendría que el software de procesamiento de video utilizado realizara el conteo de forma autónoma, para obtener una aproximación al número real de ívidos en la zona de estudio, discriminando la convivencia con otras especies.



Figura 74, contabilización de reses.

Una vez contabilizadas las reses existentes en una explotación, cabe garantizar la calidad del pasto con la que han de alimentarse los diferentes animales, por ello para maximizar la productividad ganadera, se buscan tecnologías fiables que permitan tomar decisiones en la gestión agrícola, con información precisa y actual. Un método de información se realiza a través de la gestión de la calidad de los pastos, donde la medición exacta de la biomasa y la calidad de la hierba es esencial para una buena toma de decisiones.

En los últimos años, la proliferación de épocas de grandes sequías, al igual que la invasión de plantas no autóctonas de una determinada zona ha ido en aumento. Por lo que la selección de pastos con unas determinadas características y calidades se hace necesarias para la correcta alimentación del ganado, sin desvirtuar su calidad. Con la colaboración de los VANT, se pretenden obtener datos fiables y en tiempo casi real de las zonas a explotar. Con el fin de optimizar las decisiones diarias de gestión de una explotación, se busca la obtención de datos fiables, a través de sensores que deben cumplir unos requisitos específicos. Teniendo en cuenta que el espacio de

teledetección está limitado, además de la imposibilidad de trasladar diariamente a las reses a varios kilómetros de distancia.

El VANT que se utilizará para esta aplicación es un multirroto controlado en modo manual, en el cual se encuentran instaladas una cámara multiespectral y otra hiperespectral, capaces de diferenciar el tipo y la calidad de la hierba analizada, para ello se ayudará por un sistema de filtros para obtener imágenes por reflexión de bandas de frecuencia en las regiones visibles y del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, y un GPS capaz de localizar el punto exacto donde se encuentra la zona a explotar. La información se trasladará mediante un sistema GIS (ver Massey).



Figura 75, multirroto de 6 ejes con mando a distancia y un ordenador portátil para configurar el sistema GPS.

Estos sensores tienen que aportar una obtención de imágenes de forma rápida y con un costo relativamente bajo.

Para obtener datos significativos sobre parámetros relevantes de pastos, tales como proteína cruda y biomasa, los sistemas deben ser calibrados con precisión y deben de contar con un software adecuado para el correcto procesamiento de datos. Esto implica correcciones radiométricas y correcciones georreferenciadas, que muestren información precisa de las imágenes.

A continuación se aplican métodos para relacionar los datos de imágenes espectrales a los datos de referencia en tierra.

La imagen obtenida mediante cámara multiespectral a través de un vuelo a baja altura (50 metros), producirá una alta calidad de los datos, debido a una gran resolución de imagen, pudiendo obtener unos resultados con una mayor comprensión espacial, que relacionados con variables temporales, dan una mayor cobertura de la calidad del pasto y la biomasa. Por otra parte, realizar un sistema robusto que sea capaz de mejorar los modelos de calibración para

la teledetección aérea de parámetros relevantes, deberán ser tomados y puestos a prueba por cámaras hiperespectrales y multiespectrales.

Mediante un software personalizado, se programaran los sensores para adquirir imágenes a intervalos de tiempo específicos en posiciones predefinidas del GPS.

La cámara multiespectral adquiere las imágenes en seis bandas de ondas discretas simultáneamente, los filtros intercambiables están en el rango de 400 a 1100 nanómetros, mientras que la sensibilidad espectral de los detectores está limitada en las regiones de alta y baja del espectro electromagnético. El firmware de la cámara permite preconfiguración de imagen, relacionado parámetros tales como el tiempo de exposición o el retraso entre la captación de las imágenes.

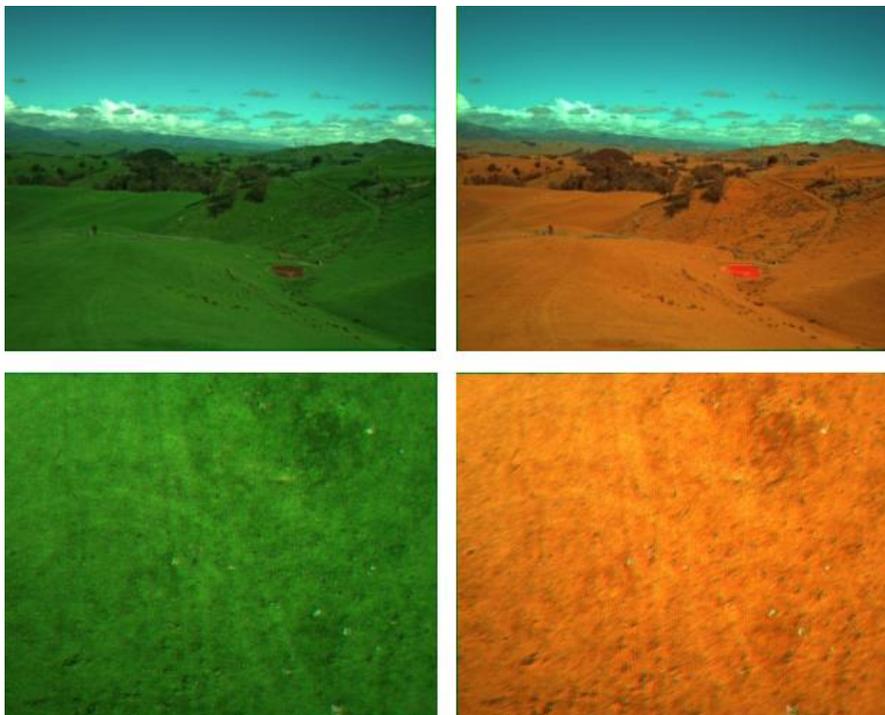


Figura 76, imagen observada a través de diferentes bandas.

La figura muestra las imágenes tomadas por el multirrotor sobre una granja de ovejas. Arriba a la izquierda: Una imagen adquirida sobre una granja de carne de vacuno. Arriba a la derecha: imagen idéntica visualizada con una banda de infrarrojo cercano. Abajo a la izquierda: Una imagen de un pasto. Abajo a la derecha: imagen idéntica con una banda del infrarrojo cercano.

El filtro de infrarrojo cercano se ha reemplazado con un filtro de bloqueo de la luz roja.

La modificación del firmware de la cámara permite ejecutar la captura continua a intervalos de tiempo específicos, además se puede ajustar el filtro según diferentes ajustes (azul, verde e infrarrojo cercano). Se necesita una cámara cuya banda tenga aproximadamente 100nm de ancho.

Con el fin de extraer el máximo de información de las imágenes aéreas, los valores de píxeles deben ser calibrados para una reflexión y geometría corregidas aceptables. La corrección implica la eliminación de la banda oscura, y una corrección de la lente.



Figura 77, patrones de calibración homogéneos para una imagen.

La calibración de las imágenes se realiza mediante lonas en el espectro visible a una altitud de vuelo alta y en el infrarrojo a una altitud de vuelo baja.

El método más común para convertir los datos de imagen de reflexión del suelo es el Método Línea Empírica, que asume una relación lineal entre los números digitales y la reflexión del suelo. Un conjunto de objetivos homogéneos (negro, blanco, gris y rojo) con distintas características de reflexión, se coloca con unas determinadas medidas en el suelo y tras su reflexión, se adquieren los colores mediante un espectrómetro. Al mismo tiempo, las imágenes se toman sobre el objetivo, como puede apreciarse en la figura 77. Obteniendo una ecuación de calibración que se diferencia para cada banda de frecuencias discretas mediante la correlación del suelo y mediciones en el aire (ver Massey).

La corrección geométrica consiste en la extracción de la lente a efectos de distorsión y ortorrectificación de las imágenes usando los puntos de control en tierra conocidos.

Después de aplicar todos estos métodos a la imagen, se contrasta información sobre las propiedades de vegetación, tales como la biomasa de los pastos y la calidad.



Como se ha intentado demostrar en la primera parte de la aplicación los drones son una herramienta de gran utilidad a la hora de controlar reses, pudiendo vigilar y encontrar pastos en zonas de difícil acceso.

Hasta ahora, los ganaderos tenían que contratar a pastores además de utilizar perros pastor para empujar las ovejas a determinadas zonas de pasto o hacia las explotaciones repartidas en la montaña, por lo que la utilización de drones supone el beneficio económico de no contratar a nuevo personal.

Además estos mismos sistemas pueden servir para el conteo de animales en una explotación, deduciendo si existe alguna res extraviada durante una travesía, o para realizar estimaciones sobre una población cinegética o que frecuentan un determinado parque natural. Sin embargo se presentan limitaciones para obtener resultados adecuados, siendo conveniente contrastar con visitas de campo simultáneas a la adquisición de imágenes, para ello también se presentan unas posibles soluciones técnicas que ayudaran a la hora de captar unas mejores imágenes.

De igual manera una se hace esencial una correcta planificación del vuelo seleccionando una altura de vuelo coherente con el tamaño de animales a detectar, además de optimizar la relación entre altura y la superficie a cubrir.

Para la correcta captación de datos a alta velocidad, se hace esencial una buena placa controladora, que capte y contraste de manera simultánea los posicionamientos GPS, estabilización de las cámaras y aeronave, además de decidir la dirección de las imágenes de las cámaras y la orientación de las mismas, favoreciendo así los posteriores análisis fotográficos.

No hay que olvidar que en el tiempo en el que se lleva a cabo el vuelo de un dron los animales se pueden desplazar por todo el territorio, introduciendo incertidumbre en la estimación del número de animales totales.

Una posible solución a la duplicidad de los animales reside en que el software que analiza las imágenes captadas por los VANT pudiera ser capaz de discriminar el chip que la mayoría de los animales llevan integrados, para así contabilizar cada res una única vez.



Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en cuestiones urbanísticas y arqueológicas, se describirá porque los VANT pueden convertirse en una herramienta interesante para la obtención de cartografías y conocimiento del terreno.

El auge de drones en materias urbanísticas y arqueológicas se debe fundamentalmente a la demanda de información geográfica precisa, donde poder encontrar toda la información de una determinada parcela. En primer lugar se observa un escenario donde el uso de la cartografía debe ser actual y de rápida comprensión, demandándose al mismo tiempo una información exacta, tanto temporal como posicional.

El usuario actual no solo demanda un producto que esté bien georreferenciado, además quiere que éste sea actual. Esto viene promovido por la variedad de cambios que ha sufrido el espacio urbanístico en los últimos tiempos. Las metodologías y plataformas convencionales de producir información geográfica hacen que en ocasiones resulte inviable tener actualizada una base de datos fiable. Es en este punto, donde los VANT ocupan su posición dentro del proceso de producción cartográfica, siendo posible generar productos cartográficos actualizados de pequeñas áreas, diferenciándose por tanto de los métodos convencionales, que obligatoriamente tenían que abordar extensiones amplias de terreno.

Se comparará la obtención de cartografías con el uso de herramientas de teledetección, donde se indicarán, los sensores y los usos de ambos métodos.

Por último, se abordarán similitudes en los procedimientos cartográficos realizados en cuestiones urbanísticas y arqueológicas, donde los VANT, no sólo aportarán información del terreno, si no que ayudaran a aclarar la evolución de los paisajes y del legado patrimonial, contribuyendo a avanzar en el conocimiento arqueológico de la ordenación del territorio, diferentes modelos de construcción, así como las posibles conexiones con poblaciones próximos, del yacimiento ibero-oretano del Cerro de las Cabezas.

Vehículos recomendados

Multirrotores.

Cámaras multiespectral, hiperespectral y térmica.



Estabilizador de vuelo.

Estabilizador de imagen.

GPS.

Altímetro.

Sistema LIDAR.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en urbanismo y arqueología

Se entiende por topografía a la ciencia que estudia a través de procedimientos gráficos la corteza terrestre, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. Por lo general la información obtenida se representa sobre una superficie plana, limitándose a pequeñas extensiones. Mientras que la cartografía es la ciencia encargada de analizar medidas y datos pertenecientes a pequeños terrenos y representarlos en modelos lineales o en tres dimensiones.

En la actualidad, la fotogrametría es la técnica que agrupa estas dos ciencias. A través de imágenes en 2D se pretenden obtener modelos digitales de objetos y superficies en 3D, esto se consigue analizando las imágenes en 2D con algoritmos computacionales, que a través de referencias en las imágenes intentan triangular los puntos usando su posición geométrica relativa con ayuda de un GPS.

A través de este método se puede obtener una cartografía completa de un terreno, construyendo un modelo digital de elevación y superficie, o a través de una nube de puntos. Para una correcta toma de datos, es necesario un multirrotor, cuya placa base permita capturar datos simultáneamente, un GPS, un altímetro y un estabilizador de vuelo, que permita ubicarse a la aeronave en un determinado punto sin ninguna perturbación y una cámara hiperespectral o térmica para capturar las imágenes.

Para esta aplicación, existen múltiples software especializados en realizar cartografías, todos ellos piden los mismos datos de entrada diferentes imágenes en 2D, georreferenciadas por un GPS, cuantas más fotografías se obtengan mayor será la resolución y exactitud obtenida en los modelos. Por lo que dependiendo del que se utilice, tomara por defecto unas posiciones u otras de las fotografías, dependiendo de las cantidad de obstáculos encontrados en el terreno, la superficie a cartografiar, o la precisión que se le indique previamente, entre otros.



Uno de los software más utilizados es el Pix4D mapper, es capaz de generar precisos ortomosaicos, modelos digitales de superficie, así como nube de puntos. La precisión a la que se puede llegar con esta aplicación es del orden de pocos centímetros, con lo que se podría encontrar algún problema a la hora de planificaciones urbanas, por sus interferencias con otros edificios (ver Smartdrone).

Como en otras aplicaciones se ha descrito, la precisión depende de la altura a la que se tomen las capturas fotográficas con el AUV, sin olvidar la exactitud de los sistemas GPS, o la resolución de las cámaras. Por lo que se podrá aumentar la precisión de las cámaras, si se vuela a una altura cercana al suelo. Para certificar las mediciones y el error cometido, es necesario utilizar herramientas tradicionales como las estaciones topográficas.

Otro software alternativo es el DroneMapper, es una solución proporcionada a través de la web, menos precisa que la mencionada anteriormente, pero con una mayor simplicidad pues realiza mapas en 3D con fotos referenciadas a diferentes alturas y situaciones.

Los drones han tenido una gran aceptación para realizar este tipo de tareas urbanísticas, pues es mucho más rentable en tiempo y costo, comprar información LIDAR, que contratar estaciones topográficas o rentar helicópteros para tomas aéreas.

El procedimiento a realizar es similar a los realizados en otras aplicaciones, previamente al vuelo se realizará un barrido que acote la superficie donde se quiere realizar la cartografía, posteriormente se selecciona la resolución que se desea y el software establece el número de pasadas y la cantidad de imágenes necesarias para obtener un resultado óptimo, por lo que el VANT operado en un modo autónomo, seguirá la ruta prefijada y obtendrá los datos correspondientes.

Una vez se han tomado los datos, se cargan en un software de diseño asistido por ordenador, donde a través de las fotos tomadas se crea una nube de puntos que modelan la superficie, pudiendo generar diferentes planos ya sea curvas de nivel, modelo de elevaciones o modelo de pendiente. Además, los programas dan la opción al usuario de configurar diferentes acciones. Como por ejemplo, existe la posibilidad de modificar la nube de puntos si en ella aparecen objetos tales como coches, árboles o edificios que no interesen en la obtención de resultados, modificando de igual manera la superficie objeto de estudio.

Al realizar modificaciones sobre la nube de puntos inicial, el programa obliga a utilizar líneas de rotura, las cuales pueden coincidir o no con los vértices

iniciales, pudiendo introducir ángulos o contornos no capturados en las imágenes (ver Drones).

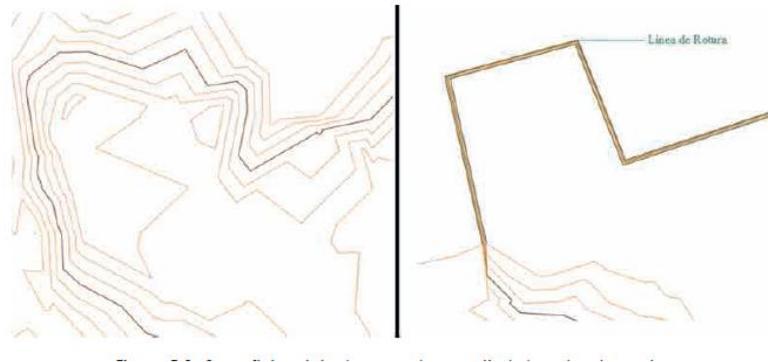


Figura 78, tratamiento con líneas de rotura.

Además el programa tiene acciones de análisis espacial predefinidos, para realizar cálculos de variables relevantes en el sistema objeto de estudio, como las áreas de influencia, la superposición de otras capas de información, el modelo digital de elevaciones, el modelo digital del terreno, etc.

De una manera similar se obtienen imágenes en 3D mediante teledetección de una superficie y de todos los objetos que en ella intervienen. Dotando al dron de una cámara multispectral que capte la interacción electromagnética entre la superficie y la cámara, extrayendo información infrarroja y ultravioleta. Por ello, a través de una imagen multispectral, se podrán diferenciar objetos como metales o vegetación por las diferentes longitudes de onda que emiten.

A través de estos métodos, se puede elaborar una cartografía con una gran precisión, que ayudará a la toma de decisiones de ciencias como la geología y la geomorfología del terreno, aplicándose a existencia de acuíferos, el conocimiento del terreno, o materias arqueológicas, entre otros.

Precisamente es en materias arqueológicas, donde la teledetección tiene un campo de aplicación más amplio, puesto que existen yacimientos arqueológicos donde gran parte de su extensión se encuentra enterrada en la superficie terrestre, es el caso del yacimiento arqueológico del Cerro de las Cabezas, ubicado en el kilómetro 208 de la A-4 sentido Córdoba, en el término municipal de Valdepeñas (Ciudad Real).

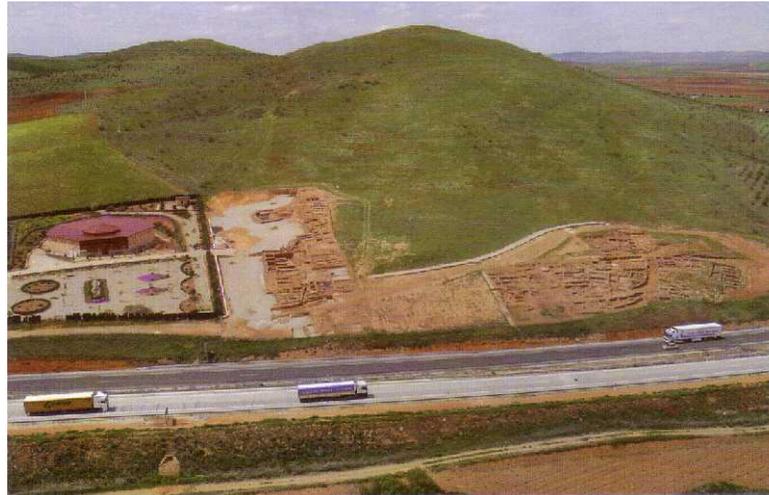


Figura 79, yacimiento arqueológico del Cerro de las Cabezas.

Dicho yacimiento estuvo habitado desde el siglo VI al II a.C, por los íberos, llegando a tener una población superior al 1% del total de la Península Ibérica. La excelente conservación de sus restos, la forma de sus modelos defensivos, su ubicación o el ser una de las ciudades ibéricas mejor conservadas dentro del panorama peninsular, lleva a este yacimiento a ser un punto de referencia de las civilizaciones antiguas.

Desde que empezaran las excavaciones en el año 1985, tanto Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, como el propio Ayuntamiento de la ciudad, han firmado convenios con diferentes universidades y colectivos, para financiar diferentes acciones que dejan al descubierto el patrimonio cultural que allí se alberga. Entre los hallazgos más relevantes, se pueden encontrar zonas defensivas, áreas urbanas, primeras calles, primeros sistemas de drenaje, diferentes ánforas, restos humanos, entre otros (ver Patrimonio).

Tradicionalmente cuando se quería empezar a excavar en una zona, se hacían pequeñas prospecciones en diferentes zonas para delimitar la zona objeto de las actuaciones. En la actualidad no es necesario realizar ninguna calicata, sino que basta con sobrevolar una zona con un VANT y realizar mediante teledetección el estudio correspondiente. Para contrastar los resultados obtenidos, se puede utilizar un georradar para marcar con mayor exactitud la ubicación de las estructuras.

Todas las excavaciones realizadas hasta el momento, han dejado al descubierto posibles cambios en el sistema económico, tecnológico y social de la época. Con todos estos datos, el grupo de investigadores encargados del yacimiento, intentan reconstruir la historia del territorio, dando cabida no sólo a lo situado en la urbe, sino dando respuesta a dónde sacaban los recursos necesarios para la agricultura, ganadería, prospecciones mineras,



moldeamiento del metal y posibles infraestructuras de comunicación con otras poblaciones próximas.

Para obtener dichos avances, hay que realizar una importante labor de catalogación y reconstrucción de los utensilios encontrados bajo tierra, para así descodificar y concebir cada uno de los elementos naturales y antrópicos como parte de un todo, resultado de una sociedad jerarquizada, que permite extraer conclusiones sobre gestión del territorio, transformación de la urbe a lo largo del tiempo o sistemas económicos y religiosos.

Aunque el principal interés que despiertan los VANT en materias arqueológicas, viene motivado por la digitalización del patrimonio, dicho de otra manera, la realización de figuras en 3D donde queden reflejados todos los detalles de un yacimiento.

Esta labor se realiza a través del sistema LIDAR antes descrito, para ello es necesario la utilización de un VANT pilotado en modo autónomo, que cuente con una cámara óptica de gran precisión, para representar lo más fielmente posible las estructuras y una cámara térmica, que detecte los cambios en los materiales y deterioros en la edificación. Como ya sucedió en otras aplicaciones es necesario preprogramar la ruta de vuelo, acorde con la resolución que se quiera obtener. En este caso no debe exceder los 20 metros de altura.

Para la correcta georreferenciación del proyecto es necesaria la obtención de posiciones precisas de determinados puntos en el terreno. Indicando claramente la posición de la fotografía tomada, para poder establecer una correcta correlación de la frecuencia de imágenes.

Posteriormente se realiza el plan de vuelo planificado, se ejecutará la ruta donde se van a tomar las fotografías en cada punto programado, las cuales se podrán observar en un ordenador en tiempo real.

Tras finalizar el plan de vuelo se realizara la descarga de datos de la telemetría de vuelo y fotográficas para el posterior procesamiento.

Una vez obtenidas las fotografías y las posiciones, se realiza el cálculo de los parámetros de orientación de cada una y se georreferencian, tras ello, serán cargados los datos en un software, que realiza el modelo en 3D.



Figura 80, modelo mediante sistema LIDAR del yacimiento arqueológico del Cerro de las Cabezas.

Además del modelo en 3D, el software detalla en un informe el estado de los restos arqueológicos y diferentes mapas de nivel.

Con la intrusión de nuevas tecnologías y la creación de un centro de interpretación donde se puedan ver los avances obtenidos, entre otras medidas, el yacimiento arqueológico del Cerro de las Cabezas aspira a ser reconocido en próximas fechas como Parque Arqueológico, motivado por el gran objetivo marcado tanto por Valdepeñas como por la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, que es el reconocimiento por parte de la UNESCO como Ciudad Patrimonio de la Humanidad del Mundo Antiguo.

Conclusiones

El uso de drones para estas aplicaciones contribuye a la obtención rápida de datos espaciales, y a la construcción en un corto periodo de tiempo del sistema digital objeto de estudio, consiguiendo una alta resolución, disminuyendo los costes y el tiempo con respecto a los sistemas tradicionales.

Además la intrusión de VANT ha provocado un cambio en los métodos tradicionales de operar, disminuyendo la operación de satélites, aviones tripulados o de la cartografía realizada a pie de campo.

En cuanto a la precisión de los mapas en 3D, pueden variar dependiendo de la altura del vuelo, la resolución de la cámara, el número de imágenes o del software utilizado, entre otros.

Dependiendo de las cámaras con las que cuente el VANT, o de los datos a estudiar puede variar el método a utilizar. Si el VANT tiene integrado una



cámara hiperspectral o térmica y sólo se quiere obtener una imagen en 3D del terreno, se deberá realizar una cartografía, mientras que si la aeronave tiene instalada una cámara multispectral y se desea conocer la morfología del terreno, se deberá utilizar la teledetección.



Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en cuestiones de prospección, explotación y almacenamiento de recursos minerales, se debatirá sobre si los VANT pueden convertirse en una herramienta interesante para la obtención recursos y ayudar a la toma de decisiones.

Las actividades de extracción de minerales o de hidrocarburos requieren una serie de trabajos, como son los estudios previos sobre la prospección para localizar los yacimientos y posteriormente la extracción e investigación de dichos recursos, determinando sus propiedades y características, además de tareas de mantenimiento de infraestructuras.

La prospección aérea, presenta diferentes ventajas por ser un medio no intrusivo que no provoca impactos o daños ambientales, la recopilación de una gran cantidad de datos, es posible cubrir una gran cantidad de terreno disminuyendo los costes, no son necesarios permisos de ocupación de terreno, no se precisa apertura de pocillos ni sus licencias, los datos pueden ser recopilados incluso cuando la cobertura vegetal es densa.

Además la aplicación de los VANT en este campo busca la disminución de costes por el traslado de pesados equipos, la disminución de costes en el estudio de la zona, la disminución de costes asociados al mantenimiento de equipos, entre otras. Al ser aeronaves menos pesadas ahorran energía con respecto a aeronaves tripuladas. Como consecuencia del menor coste, se puede sobrevolar una zona diferentes veces para producir modelos informáticos más exactos, que incluyen los campos magnéticos y gravitacionales provocados por los yacimientos minerales que pudieran existir en el subsuelo.

Vehículos recomendados

Ala fija.

Modo autónomo.

Cámara térmica y multiespectral.

Autonomía mayor de 24 horas.

GPS.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en la explotación de recursos minerales

El aumento de consumo energético español se ha desarrollado al mismo tiempo que la industrialización, la mecanización de la agricultura y el desarrollo de los medios de transporte. España no posee fuentes suficientes de energía, por lo que debe comprar 77,4% de la energía que consume a otros países, convirtiéndola en un Estado deficitario.

Los últimos planes energéticos nacionales se han enfocado a diversificar las fuentes abastecimiento, aumentando el consumo de carbón o energías renovables y disminuyendo el consumo de petróleo, aunque debido a medidas tomadas por la Unión Europea o por las fuertes presiones del sector empresarial, nunca se han llegado a obtener los resultados esperados, incluso múltiples minas se han visto abocadas a cerrar, como las de hierro de Las Encartaciones (Vizcaya) o las de mercurio de Almadén (Ciudad Real) (ver Kerchak).

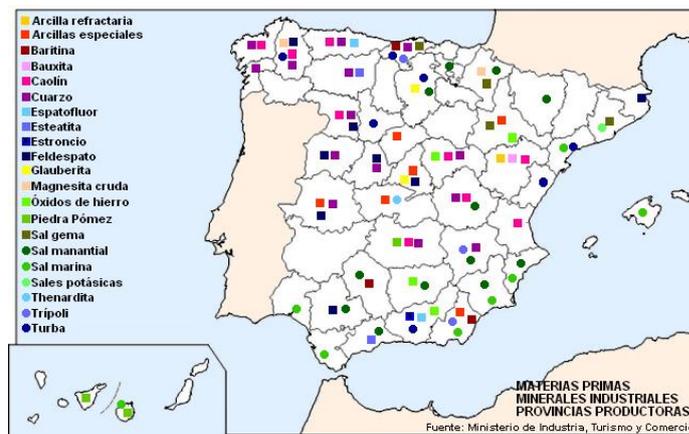


Figura 81, extracción de materias primas en territorio nacional.

Por ello, se están buscando por parte de las empresas opciones para rentabilizar las explotaciones sin la aportación de ningún tipo de ayudas por parte de la administración, a través del uso de tecnologías emergentes, que ayuden a calcular rápidamente la ubicación de un determinado material o la cantidad de mineral que se ha extraído de una mina.

El principal método utilizado en minas a cielo abierto, es la cartografía, donde un VANT puede capturar de manera autónoma multitud de imágenes utilizadas para realizar un modelo en 3D, utilizando el mismo modelo de trabajo y la misma aeronave que se describió en la aplicación de urbanismo. Con ello se pretende obtener un modelo a escala del terreno o curvas de nivel, que ayuden a la toma de decisiones, sobre alternativas de excavación, nuevas zonas a explotar o el cálculo de volúmenes extraídos (ver Mappinggis).



Figura 82, cartografía de una mina cielo abierto.

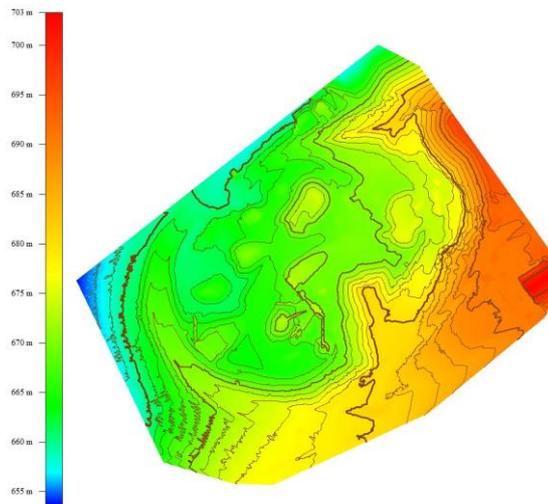


Figura 83, curvas de nivel de una mina cielo abierto.

Si al VANT utilizado para realizar la cartografía se le equipa con una cámara multiespectral, permite recoger datos de reflexión y propiedades de absorción de los suelos, rocas y vegetación, que combinados con la cartografía ofrecen sobre el plano las diferentes ocupaciones de los minerales que se encuentran en la mina, facilitando así su identificación (ver Satimagingcorp).



Figura 84, diferenciación de minerales en función de su longitud de onda.

En las imágenes anteriores se muestran diferentes minerales captados según su longitud de onda, así en la imagen de infrarrojo cercano de la izquierda, la vegetación se muestra en color rojo, el agua y salitre en color blanco, mientras que las rocas son de color marrón, gris, amarillo y azul, estos colores reflejan la presencia de minerales de hierro. La imagen central muestra bandas de infrarrojo de longitud de onda corta de 4, 6, y 8 μm . En esta región de longitud de onda, materiales como la arcilla y el carbón tienen diferentes características, lo que resulta en colores distintos, así las rocas calizas son de color amarillo-verde y púrpura son zonas ricas en caolinita. La imagen de la derecha muestra las bandas del infrarrojo térmico 13, 12 y 10 μm . En esta región de longitud de onda, las variaciones en contenido de cuarzo aparecen de un color rojo, las rocas carbonatadas son de color verde, y las rocas volcánicas son de color púrpura.

Este método no es aplicable a todas las minas, puesto que para extraer materiales más profundos es necesario utilizar minas subterráneas. A continuación se describirán dos de las técnicas más importantes utilizadas para la detección de minerales.

Si el material que se quiere extraer es magnetizable, como el cobre, hierro y oro, se realiza una magnetometría aérea, que es el método encargado de medir anomalías terrestres en la superficie. Para ello se deberá de instalar en el VANT un altímetro que será el encargado de detectar la variación del campo magnético.

Para evitar anomalías en las medidas debidas a fenómenos de tipo meteorológico o mareas lunares, es necesario realizar de manera simultánea mediciones desde un punto fijo para realizar correcciones. Tras realizar las compensaciones se puede obtener el mapa magnético, que detecte las zonas más favorables de extracción (ver Interempresas).

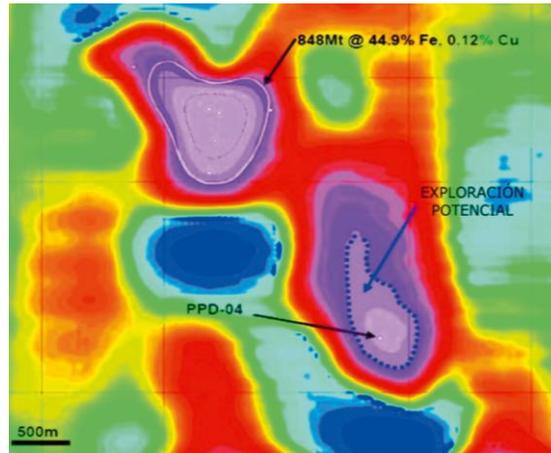


Figura 85, resultados de la Magnetometría en una mina de hierro.

Si el material que se pretende extraer tiene diferente densidad con respecto al resto del medio, como el carbón, petróleo, o cualquier gas, se realiza una gravimetría aérea, la cual consiste en obtener cambios en los valores de la gravedad, motivados por las diferentes densidades de los materiales. Para obtener dicho cambio es necesario instalar en el VANT un giroscopio y un acelerómetro, que capten las pequeñas fuerzas ejercidas sobre la aeronave y los cambios de velocidades (ver Interempresas).

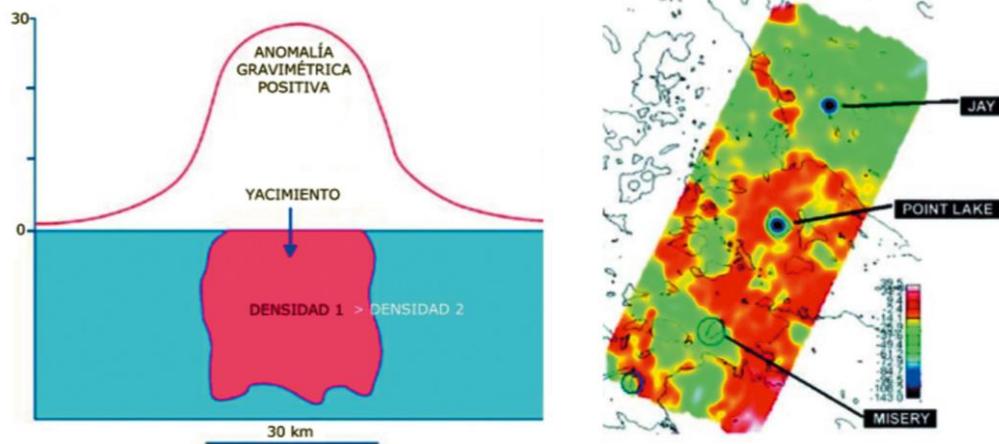


Figura 86, anomalías producidas en la atmosfera y gravimetría en una mina de carbón.

En la actualidad, los drones más utilizados en aplicaciones relacionadas con la minería son los que se encargan de la vigilancia y seguridad del producto extraído, incorporando un sensor de gases, para detectar cualquier aumento significativo de productos contaminantes que puedan afectar al ser humano, y una cámara térmica, que sirve para detectar aumentos de temperatura



cuando se almacena un mineral, debido a los sulfuros metálicos, pudiendo llegar a su autocombustión.

Conclusiones

En esta aplicación se han presentado aeronaves utilizadas en minas a cielo abierto y en subterráneas, diferenciando los métodos utilizados para cada uno de los casos.

Tradicionalmente los métodos descritos ya se realizaban con aeronaves tripuladas, por lo que con la implantación de los drones se ha conseguido disminuir el volumen de inversión para adquirir las aeronaves, además de disminuir costes de personal y el tiempo empleado por los mismos para hallar conclusiones, puesto que el software utilizado en cada uno de los casos ofrece los diferentes resultados encontrados en un informe, facilitando la toma de decisiones.

Como se ha visto, las labores de vigilancia empleada por los drones son muy beneficiosas para el almacenamiento y de seguridad de los minerales extraídos, pues permite controlar en cada instante como se encuentra el producto, disminuyendo los riesgos asociados al almacenamiento.



5.3.1 Servicios de entrega a tiempo.

Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en materias de transporte cartas y paquetes, así como las empresas que están apostando por esta tecnología para el reparto de suministros o las ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo, los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa económicamente viable.

En la actualidad son cada vez más frecuentes, el uso de mensajería postal, compras por internet, pedido de comida rápida, publicidad... y cada vez son más empresas las que entran en un mercado de competitividad, cuyo objetivo principal es la rapidez del servicio de entrega.

Si a estos fenómenos se le añaden los riesgos ocasionados por las inclemencias meteorológicas tales como, fuertes nevadas, fuertes lluvias o grandes bancos de niebla, y en ocasiones dificultades ocasionadas por la orografía del terreno, hacen que en múltiples ocasiones la entrega a tiempo de los paquetes, sea una tarea muy complicada. Por ello las empresas apuestan por el uso de tecnologías cada vez más innovadoras, para que el paquete sea entregado en el tiempo establecido.

Vehículos recomendados

Multirrotores.

Modo automático y manual.

Cámara óptica.

GPS.

Ultrasonidos.

Infrarrojos.

Sistema vuelta a casa.

Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en labores de entregas a tiempo

En la actualidad la empresa pública CORREOS es la encargada de transportar y distribuir en todo el territorio nacional millones de cartas y paquetes, procedentes de diferentes puntos del planeta. Para ello cuenta con más de 50.000 empleados encargados de entregar los envíos en el tiempo establecido.

Para mejorar el servicio postal y de paquetería prestado se encuentra inmerso en una serie de experimentos con vehículos aéreos no tripulados, sumándose así al resto de los operadores postales europeos que también están realizando pruebas con esta tecnología.

Los primeros experimentos llevados a cabo por la empresa postal con drones, se han realizado en la localidad asturiana de Sotres, zona de difícil acceso que suele quedar aislada en la época invernal, por las grandes nevadas que se producen. El uso de nuevas tecnologías en especial el uso de drones permite mejor prestación del servicio (ver Correos).

Además de repartir el correo, se pretende hacer llegar a los ciudadanos artículos de primera necesidad y poco peso en caso de quedarse aislados en sus viviendas, sin exponer la seguridad del cartero, siendo este un punto de vital importancia, puesto que se consiguen minimizar los riesgos propios de esta actividad.



Figura 87, repartidor manipulando un multirrotor.

Las pruebas se están realizando en dos puntos de fácil acceso para los carteros, situados a 3 Km y 2,5 Km del pueblo, facilitando que no se desvíen las rutas de los mismos para perder el mínimo tiempo posible.

El dron utilizado es un multirrotor de 6 ejes, capaz de transportar 1,5 Kg de carga de pago, debido a las inclemencias meteorológicas en las que va a operar es necesario que aguante vientos de 40Km/h. Se guía por GPS, y es manejado en un modo automático.



Al tener un modo de empleo automático, es necesario programar la ruta del vuelo antes del despegue del VANT, esta ruta se señalará por puntos de GPS, como ya se ha visto en anteriores aplicaciones y no necesita que un operador le ordene ninguna acción, aunque, por razones de seguridad, se puede pasar a modo manual en cualquier momento. En caso de perder la señal de radio del emisor, está dotado con el sistema de “vuelta a casa” por la misma ruta que ha venido. Este sistema se puede activar en cualquier momento que lo desee el piloto (ver Correos).

El software utilizado tiene un fácil manejo, puesto que el piloto sólo debe elegir el punto final del vuelo, las paradas y la altura a la que debe volar, el resto de los datos se cargarán de manera automática. Las pruebas realizadas permiten comprobar los límites de esta tecnología en un entorno real, para así definir diferentes procesos, optimizando los recursos necesarios para poder implantar el servicio en un futuro, con el objetivo de ayudar al cartero en el desarrollo de su actividad, mejorando los procesos de seguridad, sin la intención de eliminar puestos de trabajo.

Además de este proyecto, CORREOS se encuentra inmerso en otro a través del programa del CEIN “Impulso Emprendedor”, la empresa postal apostó por la empresa Technidrone para evaluar el potencial de esta tecnología aplicada al estudio energético de naves industriales. La prueba se llevó a cabo en el Centro de Tratamiento Automatizado de Zaragoza y las conclusiones ratificaron la viabilidad de la tecnología para su uso en el control y mejora de la eficiencia energética de los edificios mediante el análisis de imágenes termográficas obtenidas con el vehículo (ver Correos).

CORREOS se suma así a otros operadores postales públicos como La Poste y SwissPost, y operadores logísticos privados como Amazon y DHL que están probando la viabilidad de incorporar el dron en el servicio de reparto de paquetería.

Precisamente Amazon fue el pionero en experimentar con VANT, para la entrega de paquetería. A través del programa Amazon PrimeAir presentado en 2013, el cual recogía una serie de experimentos para repartir pequeños paquetes mediante el uso de drones a partir del año 2017.

En los últimos años Amazon ha experimentado un crecimiento exponencial de sus ventas, y por consiguiente un aumento de los gastos asociados a las mismas, como el de almacenamiento y logística que en el año 2015 alcanzó un costo de 8.700 millones de dólares. Esta problemática unida con la búsqueda continua de disminuir los tiempos de entrega, lleva a la compañía a buscar nuevos métodos de distribución más rápidos que los convencionales y

a su vez conseguir el objetivo de propulsar las compras por internet (ver Gestorre).

El programa “Prime Air” pretende reducir los tiempos de entrega a 30 minutos, en las ciudades donde tenga base logística. En el año 2014 obtuvo la autorización del organismo federal estadounidense (Federal Aviation Administration, FAA) para realizar experimentos con drones hasta el 30 de abril de 2017.

La aeronave encargada de transportar los paquetes es un multirrotor, equipado con un GPS que será el encargado de geolocalizar al usuario a través del GPS instalado en un Smartphone. Además cuenta con sistemas de ultrasonidos para evitar posibles obstáculos y garantizar la seguridad de las personas.

Las pruebas realizadas hasta el momento tienen una cobertura radial de 20 kilómetros, volando a una altura de 120 metros. El peso de la aeronave es de 25 kilogramos, y es capaz de transportar una carga de pago de hasta 3 kilogramos. Además el modo de empleo será completamente autónomo, con sistemas de “vuelta a casa” en caso de que el dron pierda la cobertura (ver Uclm).



Figura 88, prototipos propuestos por Amazon.

Esta aplicación está encontrando numerosos problemas legislativos, puesto que en la inmensa mayoría de las ciudades no se puede volar con un dron operado en modo automático o manual. Por lo que la regulación dependerá en gran medida del lanzamiento de sus drones.

No hay que pensar que este tipo de drones solo tiene cabida para aplicaciones de mensajería, sino que pueden, llegar a tener múltiples usos, donde el principal objetivo sea la disminución del tiempo de entrega. Por ello locales gastronómicos de comida rápida y restaurantes, también están desarrollando este tipo de vehículos.

En todo el mundo existen múltiples restaurantes que mediante el uso de esta tecnología intentan llevar la comida lo más rápido posible a los clientes, como,

Yo! sushi en Londres, pizzería Francesco's en Bombay o la cadena de restaurantes Timbre en Singapur, precisamente esta última, va a ser objeto del siguiente estudio.

La cadena de restaurantes Timbre, es una empresa que busca a través de la innovación de los productos dar un servicio rápido con la mayor calidad posible a todos los clientes. Hace algunos años fueron pioneros en la utilización de Tablet, con la finalidad de que los clientes pudieran hacer los pedidos desde sus mesas, y que rápidamente el pedido saliera en la cocina para empezar a prepararlo.

En la búsqueda continua en el uso de tecnología esta empresa ha empezado a utilizar en unos de sus restaurantes drones para ayudar a los camareros en la entrega de los pedidos a los comensales. El principal objetivo es el de agilizar a los camareros y mejorar el servicio en general, y a la vez suplir la falta de trabajadores cualificados.

Tras varios estudios esta empresa descubrió que se perdía mucho tiempo en la distribución de alimentos entre el área de preparación y el área de servicio al cliente, existiendo un cuello de botella, que afectaba a la experiencia del cliente (ver Europapress).



Figura 89, monorrotor ayudando al camarero.

Los VANT utilizados por esta compañía, han sido desarrollados por la empresa Infinum Robotics. Estos drones sobrevuelan la cabeza de los clientes por rutas preprogramadas, vía computadora, valiéndose de la ayuda de sensores infrarrojos situados alrededor del restaurante y cámaras ópticas a bordo para la entrega de la comida.

Por razones de seguridad, los drones llevan los platos desde la cocina, hasta una zona próxima a la mesa, donde los camareros recogen el pedido y lo colocan sobre la mesa.

Infinum Robotics, más allá de diseñar y aportar los drones, también creó un sofisticado sistema de control centralizado, programando una serie de algoritmos anticolidión con la ayuda de ultrasonidos, para que fueran capaces de captar presencia de obstáculos inesperados en su ruta y detectar otras aeronaves en puntos donde pudieran coincidir sus rutas (ver Europapress).



Figura 90, multirrotores cercanos a la mesa de los clientes, esperando a que llegue el camarero.

Para una mayor seguridad de empleados y clientes, las hélices se encuentran situadas en el interior de carcasas, para que en caso de choque nadie resulte herido.

Conclusiones

En esta aplicación el uso de un dron se plantea como herramienta complementaria para ayudar al cartero rural, repartidor o camarero en el desempeño de sus funciones. El objetivo principal de estas actividades viene motivado por la disminución de los tiempos de entrega de un pedido, sin disminuir las condiciones de seguridad con las que se realiza la entrega.

Según las legislaciones de los principales países, estas aplicaciones no cuentan con los requerimientos necesarios de seguridad por sobrevolar continuamente sobre los seres humanos y estar manejados por un modo automático, por lo que un cambio en las legislaciones españolas será de vital importancia para el futuro de estas aeronaves, a la vez que será necesario disminuir fallos derivados por faltas de tensión en el aparato o pérdidas de señal que provoquen la caída del dron.

Otro de los inconvenientes de la actividad viene dado por el intento de sabotaje que puede sufrir el aparato por parte de los viandantes o los obstáculos posicionados en las ciudades, por lo que en las actividades desarrolladas por CORREOS o Amazon será necesario que la aeronave vuele a gran altura para minimizar los riesgos.



Introducción

En este capítulo se describen cuáles son las aplicaciones de los drones en materias relacionadas con el ocio y el sector servicios, en concreto se describirán los usos y posibles aplicaciones de esta herramienta en relación con las impresoras 3D, la distribución de internet en zonas desfavorecidas del planeta y competiciones con drones. Se detallaran diferentes tipos de vehículos y sistemas de ayuda al vuelo, para aportar ciertas nociones sobre el funcionamiento, además de ofrecer algunas ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo, y los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación económicamente viable.

En los últimos tiempos el avance de las nuevas tecnologías han supuesto nuevos métodos de trabajo y componentes, gran parte de culpa ha tenido la invención de internet que ha revolucionado el mercado de las comunicaciones cubriendo a un tercio de la población mundial en el año 2016. Dicho dato no ofrece más que una oportunidad puesto que aún existen dos tercios de la población que no tienen posibilidad de acceder a internet, por lo que la empresa Facebook, se encuentra inmersa en un VANT que ofrezca esta posibilidad con las mejores garantías de funcionamiento posible.

En este apartado además se desarrollará un nuevo diseño de impresora 3D que aspira a realizar componentes útiles en situaciones de emergencia.

Para concluir el apartado de aplicaciones de ocio se va a describir cómo se encuentran en la actualidad las competiciones de drones a nivel mundial, teniendo en cuenta quienes son las personas que se acercan a este mundo, cuáles son sus motivaciones y las aspiraciones que tiene a medio plazo.

Vehículos recomendados

Multirroto y ala fija.

Modo automático o manual.

Cámara óptica.

Estabilizador de vuelo.

Altímetro.

GPS.



Aplicación de vehículos aéreos no tripulados en ocio

En los últimos años la empresa estadounidense Facebook se encuentra inmersa en la continua expansión del grupo por ello tras las recientes incorporaciones de whatsapp o Instagram, busca incrementar su volumen de negocio a través de la expansión en otros mercados, para ello en 2014 compró la empresa Ascenta, dedicada al estudio y desarrollo de los drones.

El Laboratorio de Conectividad de Facebook, se encuentra embarcado en el programa Internet.org, encargado de desarrollar el dron Aquila, una aeronave no tripulada que busca dotar de internet a las zonas que en la actualidad no tienen acceso (ver Reasonwhy).

En todo el mundo, se calcula que 4.000 millones de personas no tienen acceso a internet, mientras que un 10% de la población mundial carece de la infraestructura necesaria para estar conectado. Para ello se está trabajando en red que combine, drones, satélites, laser y tecnologías de internet terrestre.

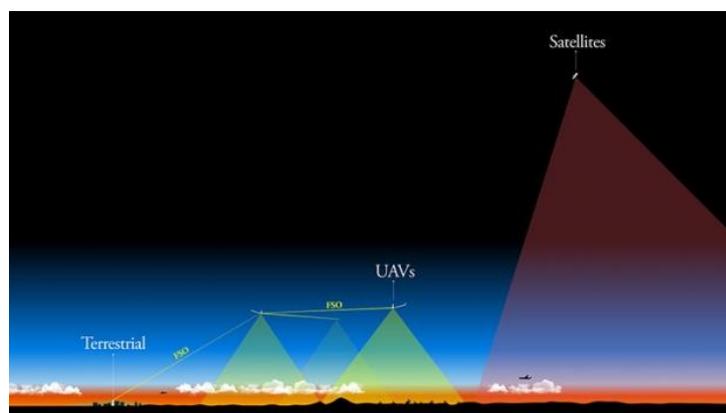


Figura 91, red de drones, satélites y tecnologías terrestres.

Aquila es un dron de ala fija, capaz de operar en modo automático durante más de 3 meses, tiene instaladas una serie de placas solares, que son las que dotan de energía al sistema, es capaz de volar a una altura de 27.000Km, lo que se traduce en que es capaz de volar muy por encima del espacio aéreo convencional y de inclemencias meteorológicas. A través de tecnología láser, puede llegar a velocidades de transmisión de datos 10 veces más rápidas que los estándares de la industria, pudiendo dar acceso a internet a personas ubicadas en un radio de 80 kilómetros (ver Cnnespanol).

El dron tiene forma de “V”, con una longitud entre alas de 42 metros, está fabricado en fibra de carbono, para disminuir el peso y aumentar su resistencia, es capaz de transportar una carga de pago de 339 kilos.



Figura 92, Aquila.

Para su lanzamiento contará con un globo de helio, que lo elevará por encima de los 15.000 metros, a esa altura se activarán los motores que seguirán aumentando la altura hasta los 27.432 metros, donde durante el día volará realizando círculos aumentando su altura y por la noche ahorrará energía planeando hasta los 18.288 metros (ver Tecnoexplora).

El dron siempre contará con energía solar para cargar sus baterías, puesto que a esa altura no existen nubes u otros objetos que produzcan sombras, además las bajas temperaturas existentes en las capas externas de la tierra, ayudarán a que no aumente en exceso la temperatura de las placas solares, consiguiendo un mayor rendimiento.

Para que Aquila sea capaz de transmitir internet, se cuenta con un sistema láser para conectar el dron con una base situada en tierra. Según la empresa, con la tecnología láser que están desarrollando son capaces de alcanzar varias decenas de gigabytes por segundo, lo que significa que es lo suficientemente rápido como para permitir que miles de personas tengan internet de banda ancha de forma simultánea (ver Cnnespanol).

En la actualidad este proyecto está en vías de desarrollo aunque se pretende que a finales del 2016 principios del 2017 se realicen las primeras pruebas para ir eliminando problemas que puedan surgir durante su funcionamiento.

El siguiente proyecto que se va a desarrollar es el de una impresora 3D cuyo cabezal sea manejado por un dron. Para ello la empresa estadounidense Gensler, busca desarrollar esta idea a través del proyecto MUPPette, el cual aparte de reducir tiempos de fabricación, intenta la disminución de los costes de material, a la vez que realizan las piezas en cualquier lugar.

Las impresoras que imprimen objetos en tres dimensiones, fueron creadas por la necesidad de realizar prototipos a escala de diferentes piezas o aparatos. Si bien el ser humano cada vez más le ha ido dando diferentes

usos, imprimiendo piezas más grandes, para sustituir a las piezas originales. Esta necesidad de crear piezas cada vez más grandes, motiva la eliminación de su estructura, para no tener ninguna limitación de tamaño en los ejes X, Y y Z, lo que redundaría en la creación de un VANT que pueda realizar tareas de impresión (ver 3Dnatives).

El primer prototipo desarrollado en 2014, es un multirroto de 6 ejes, el cual para garantizar una correcta estabilización del vuelo, sin interferir con el viento o el propio movimiento de la aeronave, contiene un estabilizador de vuelo, un GPS y un altímetro, para situarse en los puntos exactos una vez iniciada su impresión. Además cuenta con una cámara óptica, para obtener imágenes del movimiento en cada momento.



Figura 93, multirroto MUPPette.

El multirroto MUPPette, está compuesto por tres secciones principales, la primera es la plataforma del multirroto, con un depósito que contiene los dispositivos de mezcla para la goma que se utiliza en la impresión, la segunda está compuesta por los sistemas de estabilización, además de servir de soporte de sujeción, la tercera es una extrusora encargada de fundir la goma y de la impresión, de igual manera a la realizada por una impresora en 3D convencional como ilustra la siguiente figura (ver 3Dprint).

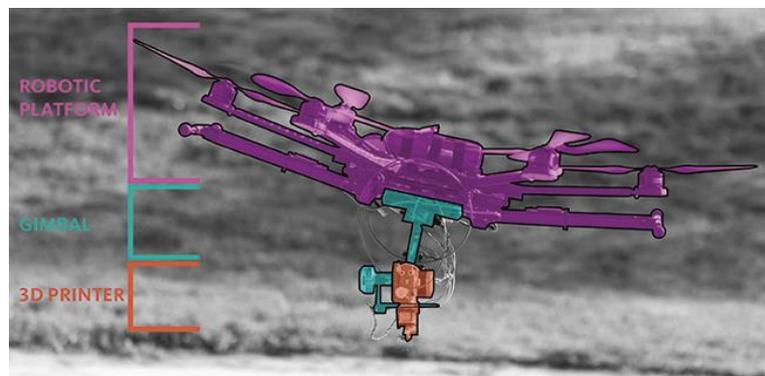


Figura 94, partes del proyecto MUPPette.

La tecnología aún no se ha perfeccionado, quedando aun por realizar muchos avances en cuanto a verter la sustancia y un mejor posicionamiento, disminuyendo las vibraciones, facilitando el depósito de finas capas de material, para mejorar el acabado superficial.

Tras los primeros avances obtenidos, se espera que esta aplicación también pueda ayudar en situaciones de emergencia, donde no se necesiten acabados perfectos, pero si se busque una gran funcionalidad.

Para concluir se van a describir las carreras de drones, que en los últimos tiempos están ganando múltiples adeptos, sin duda atraídos por sentir la adrenalina de volar a altas velocidades en primera persona, lo que algunos expertos ya catalogan con la Fórmula 1 del aire, por delante incluso de las tradicionales exhibiciones de aeromodelismo.

Precisamente las personas aficionadas al aeromodelismo son las principales valedoras de esta aplicación, además de jóvenes que se ven atraídos por las altas velocidades que son capaces de obtener con estas aeronaves muy alejadas de los tradicionales “juguetes” de control remoto.

Aunque los drones ya llevan unos cuantos años entre la sociedad, no ha sido hasta el año 2016 cuando se ha realizado en Dubái el World Drone Prix, la primera carrera a nivel mundial al aire libre, debido a las limitaciones originadas por las diferentes legislaciones. Anteriormente, si se han realizado diferentes competiciones, aunque todas se han desarrollado en espacios cerrados para evitar accidentes con el público (ver Mundodron).

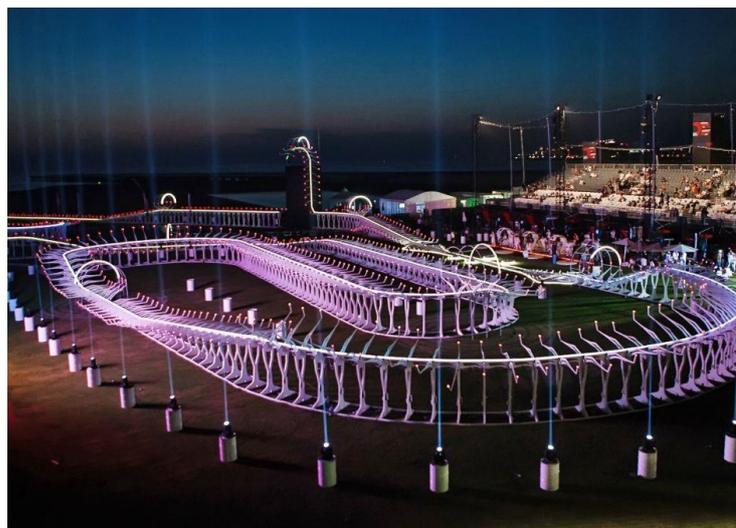


Figura 95, trazado de las World Drone Prix.

En España también se están realizando competiciones, la primera de ellas desarrollada en El Escorial (Madrid) en julio del 2016, capaz de albergar a 110 pilotos venidos de toda Europa.

Entre otros proyectos relacionados con las competiciones de drones, en Barcelona se va a crear la primera Drone City, que busca a través de la combinación de talento y tecnología encontrar nuevas áreas de negocio, mediante áreas empresariales, formativas y de entretenimiento (ver Elmundo).

En la actualidad existen diferentes modalidades de competiciones que pueden desarrollarse en un circuito donde el primero que lo recorra es el ganador, o en una zona donde tienen que desarrollar diferentes habilidades "Free Style". De igual modo existen 4 categorías dependiendo del tamaño de la aeronave, como son, Mini 250° con un diámetro entre motor a motor inferior a 250mm, Super Min 250° con una medida menor a 330mm, 600 Standard con una media comprendida entre 330 y 600mm y 1000Gigante para drones de mayor diámetro (ver Rctecnic).

Todos los drones deberán tener únicamente 4 ejes, capaz de transportar una carga de pago muy baja, puesto que cuanto menor sea, mayores velocidades serán capaz de alcanzar las aeronaves, deberá incorporar una cámara óptica de alta definición, para obtener la visión en primera persona.



Figura, equipo básico para una carrera.

Múltiples sponsors están apostando por invertir en publicidad en estos eventos con la esperanza de que se conviertan en un espectáculo de masas, por ello la cadena estadounidense ESPN está introduciendo en su programación retransmisiones en directo de algunas carreras pertenecientes



a la Drone Racing League “DRL”, con la esperanza de exportar el formato de competición y retransmisión a otros países (ver Marca).

Conclusiones

En este último bloque se han desarrollado una serie de aplicaciones que afectan a un gran número de personas de manera directa o indirecta, bien sea dotando a los diferentes sectores de un nuevo servicio, ayudando a la sociedad en caso de emergencia u ofreciendo espectáculos para la diversión y el entretenimiento público.

El proyecto desarrollado por Facebook, tiene la principal ventaja de dotar a zonas deprimidas de la corteza terrestre de internet, mejorando las tareas relacionadas con la transmisión de información, facilitando por ejemplo las labores desarrolladas por ONG y voluntarios en estas zonas.

Mientras el proyecto de la empresa Gensler intenta dotar de medios básicos a los efectivos que se encuentren en una zona donde haya habido un desastre natural, sin necesidad de transportar gran cantidad de elementos a zonas alejadas.

Por último las carreras de drones persiguen dotar a los aficionados del mundo de la velocidad y amantes de la adrenalina de un nuevo entretenimiento donde la rapidez de movimientos, pericia y reflejos del piloto, son indispensables para ofrecer un buen espectáculo, sin depender en gran medida de las aeronaves utilizadas.



6.- Conclusiones y líneas futuras

El presente trabajo fin de grado ha tenido por finalidad elaborar una guía de fácil acceso donde poder encontrar gran parte de las aplicaciones civiles que se encuentran operativas en la actualidad y proyectos que intentaran estar operativos en los próximos años, por lo que se puede concluir que los resultados han sido satisfactorios.

A la vista de la gran cantidad de aplicaciones desarrolladas y vehículos comparados se puede concluir que gran parte de los VANT descritos pueden realizar diferentes operaciones, únicamente es necesario cambiar el software que analiza los datos capturados, para obtener unos determinados resultados u otros.

De igual modo, todas las aplicaciones han sido desarrolladas por un VANT concreto, acotando en cierto modo el número de sensores instalados en cada aeronave.

Se ha podido deducir que los multirrotores son las aeronaves más empleadas en aplicaciones civiles, gracias a la facilidad de maniobra, tiempo de reacción, posibilidad de vuelo estacionario, capacidad de vuelos verticales y en el interior de edificios, desplazando a un segundo plano a las aeronaves de ala fija, que sólo son utilizadas cuando se debe analizar gran cantidad de terreno, cuando existen complicaciones meteorológicas o cuando el tiempo de operación se quiere que sea mínimo, debido fundamentalmente a la mayor velocidad de desplazamiento que son capaces de desarrollar o la mayor resistencia al viento.

Debido a los avances tecnológicos desarrollados en los sistemas de ayuda al vuelo y sensores, se debe añadir que hubiera resultado caótico describir modelos concretos, cuando las empresas fabricantes de los mismos cambian sus productos cada seis o doce meses.

En la actualidad la ley vigente en España no permite operar a cielo abierto en modo automático, ni encima de las ciudades, ni en un radio mayor de 100 metros sin la vigilancia del piloto, ni en horarios nocturnos, entre otros, lo que supone un serio hándicap para todas aquellas empresas, pymes o autónomos, que decidan apostar por esta tecnología, no siendo aplicable la ley al ejército y a las fuerzas de seguridad dependientes del estado. Según informaciones aparecidas en los medios de comunicación recientemente, existe una nueva ley en proceso de estudio, que liberalizará algunas de las limitaciones antes citadas.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Este proyecto se ha centrado en la búsqueda de información sobre sensores y aplicaciones civiles, por lo que las líneas futuras de desarrollo pueden abarcar desde el montaje de una aeronave, implementación de algún software de fácil manejo o la creación de nuevas aplicaciones como un dron mayordomo o un VANT controlador de zonas azules.



Fraille Mora Jesús, 2015. Maquinas eléctricas, Ed 7.

3Dnatives 25/03/2016 <http://www.3dnatives.com/es/muppette-dron-que-imprime-en-3d-01092015/>

3Dprint 30/03/2016 <http://3dprint.com/4111/muppette-3d-printer-flying/>

Abcienciade 27/10/15

<https://abcienciade.wordpress.com/2009/06/19/tubo-de-pitot-en-los-aviones/>

Academia 31/08/2016

http://www.academia.edu/16493784/Puntos_calientes_en_lineas

Adslzone 14/03/2016 <http://www.adslzone.net/2016/01/26/la-dgt-desarrolla-un-drone-para-controlar-la-circulacion-por-nuestras-carreteras/>

Adslzone2 02/01/2017 <https://www.adslzone.net/2016/08/04/sabotaje-hackeo-industrial-gracias-los-drones/>

Aeeolica, 28/04/2016 <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>

Aeromedia 25/10/2016 <http://aeromedia.es/tag/rescate-personas-drones/>

Aeromab 25/09/2015

<http://aeromab.blogspot.com.es/2012/12/investigadores-de-la-estacion-biologica.html>

Alava 16/12/2015 <http://www.alava-ing.es/ingenieros/actualidad/que-diferencia-una-imagen-multiespectral-de-una-hiperespectral/>

Alcabot 15/10/2015

<http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>

Ancorama 21/11/2015 <http://ancorama.tripod.com/id9.html>

Armados 16/11/2015 <http://www.armados.es/topic/388-visor-t%C3%A9rmico-pulsar-core/>

Atlascenter 26/09/2015 <http://atlascenter.aero/>

Autobild 14/03/2016 <http://www.autobild.es/noticias/dgt-desarrolla-dron-que-control-trafico-269967>



Blogturbohobby 29/08/2015

<http://blogturbohobby.blogspot.com.es/2013/05/bateriaslipo.html>

Colt 02/01/2017 <http://www.colt.net/es/blog/2016/01/14/la-creciente-sofisticacion-de-los-ciberataques-los-drones/>

Cnnespanol 13/01/2016

<http://cnnespanol.cnn.com/2015/07/31/facebook-construyo-un-drone-gigante-para-internet/#0>

Confidencial 12/12/2015 http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-09-30/argentina-utiliza-drones-para-cazar-a-evasores-de-impuestos_220230/

Confidencial2 14/01/2016 http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-11-23/de-mayor-guarda-de-seguridad-y-piloto-de-drones_1094511/

Conocimiento 11/11/2015 <http://conocimiento.activos-fijos-rfid.com/ondas-electromagneticas-en-rfid/>

Correos 15/03/2016

http://www.correos.es/ss/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername0=content-type&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue0=application%2Fpdf&blobheadervalue1=filename%3D2015_12_04_NP_Correos_inicia_pruebas_con_drones.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1365524129930&ssbinary=true

Correo 03/03/2016 <http://diariocorreo.pe/miscelanea/conoce-a-mesi-el-drone-que-detecta-a-los-3693/>

Detopografia 21/10/2016

<http://detopografia.blogspot.com.es/2012/10/que-es-el-lidar.html>

DGT 14/03/2016 <http://www.dgt.es/es/prensa/notas-de-prensa/2016/20160104-nuevo-minimo-historico-numero-victimas-mortales-accidente-desde-1960.shtml>

DGT2 14/03/2016 <http://www.dgt.es/es/la-dgt/quienes-somos/estructura-organica/centros-de-gestion/funciones-de-los-cgt/>

DiarioNavarra 16/01/2016

http://www.diariodenavarra.es/noticias/mas_actualidad/sociedad/2015/09/26/los_drones_podrian_sustituir_los_ladridos_los_perros_pastor_252603_1035.html

Digitalavmagazine 18/10/2016

<http://www.digitalavmagazine.com/2013/09/25/indra-coordina-la-primera->



[prueba-del-proyecto-europeo-de-id-perseus-para-control-y-videovigilancia-maritima/](#)

Dronecasero 27/08/2015

<http://dronecasero.blogspot.com.es/2014/08/que-es-el-failsafe.html>

Drones 09/08/2016 <http://drones.uv.es/aplicaciones-cartograficas-para-drones/>

DronesUV, 20/12/2015 <http://drones.uv.es/aplicaciones-de-drones-para-aerogeneradores/>

DronesUV2 24/10/2016 <http://drones.uv.es/aplicaciones-de-drones-al-control-de-fronteras/>

DronesUV3, 22/11/2015 <http://drones.uv.es/aplicaciones-de-drones-a-la-gestion-del-patrimonio/>

DronesUV4 22/10/2015 <http://drones.uv.es/aplicaciones-hidrologicas-para-drones/>

Dronespain 16/06/2016 <http://www.dronespain.pro/drones-para-bomberos/>

Droningpage 28/07/2015

<https://droningpage.wordpress.com/2014/10/19/que-partes-componen-un-drone-multirotor/>

Eceuropa 05/05/2016 <http://ec.europa.eu/spain/pdf/perseus-11-2013.pdf>

Elespanol 13/06/2016

http://www.elespanol.com/sabadodomingo/20151204/84241606_0.html

Elika 08/01/2016

<http://www.elika.eus/datos/articulos/Archivo1388/Berezi%2035%20drones%20y%20sus%20usos%20en%20agricultura.pdf>

Emaze 21/10/2015 <https://www.emaze.com/@AFOQCITC/Drones>

Elmundo 15/11/2016

<http://www.elmundo.es/cataluna/2016/07/28/5799f3f5e5fdea61108b465c.html>

Elpaís 14/03/2016

http://politica.elpais.com/politica/2016/01/27/actualidad/1453910445_454842.html



Universidad de Valladolid



Europapress 01/03/2016

<http://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-drone-camarero-dos-cosas-20150210140538.html>

Fieras Ingeniería 12/12/2016 <http://www.fierasdeingenieria.com/vehiculo-aereo-no-tripulado-impulsado-por-hidrogeno-liquido-ion-tiger/>

Fisicaoptica 11/11/2015 <http://fisicaoptica-optica-optica.blogspot.com.es/p/tema-4-instrumentos-opticos.html>

Fomento 15/03/2016

http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/CATYEVO_RED_CARRETERAS/

Gestorre 15/03/16

http://www.gestorre.es/udecontrol_datos/objetos/1916.pdf

Gizmodo 20/09/2015 <http://es.gizmodo.com/como-son-y-para-que-se-usaran-los-nuevos-drones-del-eje-1723670954>

Gps 30/07/2015 <http://www.gps.gov/systems/gps/spanish.php>

Historia 08/09/2015 <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>

Iberdrola 01/11/2016

https://www.iberdrola.com/wcorp/gc/prod/es_ES/sostenibilidad/docs/informe_innovacion0910.pdf

Infaimon 11/12/2015 <http://www.infaimon.com/es/sistemas-espectrales>

Infouas 13/05/2016 <http://www.infouas.com/faros-un-uav-ignifugo-para-la-lucha-contra-incendios/#more-6035>

Interempresas 22/11/2016

<http://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/135030-Aplicaciones-de-los-drones-a-la-prospeccion-y-explotacion-de-recursos-minerales.html>

Internacional 24/03/2016

http://internacional.elpais.com/internacional/2014/11/13/actualidad/1415905519_442269.html

Javeriana 07/03/2016 http://www.javeriana.edu.co/pesquisa/wp-content/uploads/pesquisa34_03.pdf

JuntaAndalucía 12/04/2016

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/productos/Publicaciones/congresos/xv_aeteledeteccion/XV_AET_Apoyo_Censos_UAV_ver10.pdf



Kerchak 18/11/2016 <http://kerchak.com/recursos-naturales-de-espana/>

Lavozdegalicia 15/01/2017

http://www.lavozdegalicia.es/noticia/sociedad/2016/02/04/dron-gallego-emula-aves-rapaces-espantar-pajaros/0003_201602G4P27991.htm

Losandes 01/06/2016 <http://www.losandes.com.ar/article/desarrollaron-un-drone-para-prevenir-y-controlar-incendios-forestales-en-chubut>

Madrid 10/09/2015

http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=ContentDisposition&blobheadervalue1=filename%3DGUIA_Los+dronesb.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352893744482&ssbinary=true

Magrama 22/06/2016

http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAmbienta_2013_105_completa.pdf

Manualvuelo 27/10/15 <http://www.manualvuelo.com/INS/INS22.html>

Mappinggis 22/11/2016 <http://mappinggis.com/2014/09/ejemplos-de-uso-de-drones-en-gis/>

Marca 15/11/2016

<http://www.marca.com/otrosdeportes/2016/09/21/57e2c509268e3ec5128b4626.html>

Massey 13/03/2016

http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/13/Manuscripts/Paper_vonBuere_n_2013.pdf

Mundodron 16/11/2016 <http://mundodron.com.ar/2016/03/21/dubai-sede-de-primera-carrera-mundial-de-drones/>

Nación, 04/05/2016

http://www.nacion.com/tecnologia/Monitoreo_Estrategico_Satelital_Integrado_-_Mesi-Argentina-evasores-fisco-drones_0_1442055864.html

Nitrofirex 12/04/2016 <http://www.nitrofirex.com/>

Noticieros 21/03/2016 <http://noticieros.televisa.com/ee-uu/1411/drones-patrullan-mitad-frontera-mexico-eu/>

Onemagazine 20/05/2016

<http://www.onemagazine.es/industria/drones/mineos-drones-espanoles-buscan-minas>



Onubaelectronica 09/11/2015

<http://www.onubaelectronica.es/acelerometro.htm>

Patrimonio 03/03/2017 <http://www.patrimoniohistoricoclm.es/yacimiento-del-cerro-de-las-cabezas/>

Pceiberica 12/10/2016 <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/altimetros.htm>

Prezi 12/11/2015 <https://prezi.com/pl1zi-gfqpd/resolucion-de-imagen/>

Quecamara 18/12/2015 <http://quecamarareflex.com/estabilizador-optico-imagen-funciona/>

Razón 09/02/2016 <http://www.larazon.es/economia/drones-para-vigilar-el-ave-LL10939013#.Ttt1B1eHLc2FnNP>

Revistaambienta 01/09/2015

<http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/UAV.htm>

Revistaambienta2 22/07/2016

<http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Introtele.htm>

Reasonwhy 08/11/2016

<http://www.reasonwhy.es/actualidad/tecnologia/bienvenidos-al-laboratorio-de-conectividad-de-facebook-2015-12-16>

Reciclajesecontrans 11/10/2015

<http://www.reciclajesecontrans.cl/servicios/telemetria.pdf>

Scribd 08/09/2015 <https://es.scribd.com/doc/109279529/Giro-Compas>

Satimagingcorp 22/11/2016

<http://www.satimagingcorp.com/applications/energy/mining/>

Skydron 14/01/2016

<https://www.skydron.es/seguridad-aerea-privada-drones/>

Slidashare 23/10/2015 <http://es.slideshare.net/Dabyus/sensores-de-gases>

Smartdrone 08/08/2016

<http://www.smartdrone.com.mx/post.php/topodrone>

SCF 14/03/2016

<http://www.scf.es/noticia/los-ferrocarriles-franceses-prueban-drones-para-inspeccionar-la-infraestructura>



Technologyreview 21/11/2015

http://www.technologyreview.es/printer_friendly_article.aspx?id=47228

Tecnoexplora 13/01/2016 [http://www.tecnoexplora.com/gadgets/este-dron-que-facebook-pretende-llevar-internet-todo-](http://www.tecnoexplora.com/gadgets/este-dron-que-facebook-pretende-llevar-internet-todo-mundo_2015080357f797280cf2a2e945b3e07d.html)

[mundo_2015080357f797280cf2a2e945b3e07d.html](http://www.tecnoexplora.com/gadgets/este-dron-que-facebook-pretende-llevar-internet-todo-mundo_2015080357f797280cf2a2e945b3e07d.html)

Toasproject 08/02/2016

<http://toasproject.wordpress.com>;<http://www.ias.csic.es/precisionmalherbologia>

Todrone 24/08/2016 <http://www.todrone.com/como-plantar-40-000-arboles-en-un-dia-gracias-a-los-drones/>

Transporte y ferrocarril 14/03/2016

<http://forodeltransporteyelferrocarril.blogspot.com.es/2015/09/infraestructuras-criticas-unos-apuntes.html>

Twenergy 21/03/2016 <http://twenergy.com/a/energia-solar-termica-y-eolica-a-bordo-de-drones-1120>

Uclm 15/03/16

<https://www.uclm.es/centro/cesco/pdf/noticias/2015/26.pdf>

Um 12/12/2015 <http://www.um.es/geograf/sig/teledet/fundamento.html>

Unsam 09/09/2015 <http://www.unsam.edu.ar/tss/anticipos-del-futuro-la-llegada-de-los-drones/>

Uvigo 25/10/2015

http://www.dte.uvigo.es/recursos/proximidad/Documentacion/Ultrasonicos/fundamentos%20fisicos/fundamentos_ultrasonidos.htm

Vueloartificial 30/07/2015 <https://vueloartificial.com/introduccion/primeros-pasos/la-electronica-de-vuelo/>

Xatakafoto 21/12/2015 <https://www.xatakafoto.com/xatakafoto/estabilizador-de-imagen-mejor-en-el-cuerpo-o-en-el-objetivo>