

Revisión tecnológica, normativa y aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados en la ingeniería (1ª parte)

Jose Maria Cabrera Peña¹, Lidia Esther Trejo Medina², Ricardo Aguasca Colomo², Blas Galvan Gonzalez²

¹ Universidad de Las Palmas de G.C. Dpto. Ingeniería Electrónica (España)

² CEANI - IUSIANI (ULPGC) Universidad de Las Palmas de G.C. (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8741>

1. INTRODUCCIÓN

Dado el uso cada vez más extenso de los drones en el área civil, se ha considerado importante dar a conocer el potencial de estos vehículos aéreos dentro del mundo de la ingeniería. Para conocer las utilidades de los VANT (*vehículo aéreo no tripulado*), o RPAS por sus siglas en inglés para aplicaciones civiles (*Remotely Piloted Aircraft System*), o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) en la terminología utilizada en el campo militar, es necesario remontarse a la historia y ver hoy en día cuales son las aplicaciones en el área civil. Es importante destacar el esfuerzo de numerosas universidades en investigación y desarrollo en esta área, abarcando diversas líneas de actuación, entre las que destacan:

- Diseño estructural y aerodinámico
- Sistemas de control de navegación y seguridad
- Integración y compatibilidad de equipos y sensores
- Fuentes de energía
- Protocolos de actuación en diferentes escenarios.

1.1. ANTECEDENTES EN LA HISTORIA DE LOS VANT

Los antecedentes de la historia de los actuales VANT [1] se remontan a la propia historia de la aviación y más concretamente a la del aeromodelismo, que

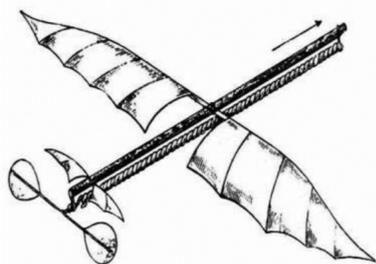


Figura 1: Diseño del "Planophore" de Alphonse Pénaud

aunque según la RAE (*Real Academia Española*) su significado es el de "*Deporte que consiste en la construcción y prueba de pequeños modelos de aviones*", tiene una parte científica en la que se encuentra el estudio de la aerodinámica junto al diseño, proyecto y construcción de aeromodelos o vehículos aéreos a escala que puedan volar con cierta autonomía, y que han servido para probar y construir las aeronaves que han existido durante toda la historia de la aviación civil y militar.

Uno de los primeros predecesores de los aeromodelos conocidos se remonta a la Italia dominada por los griegos del siglo IV a.C., donde **Arquitas de Tarento**, matemático y filósofo amigo de **Platón**, al que se le atribuyen la invención del tornillo y la polea, construye un curioso juguete de madera, hueco y con forma de paloma que pendía de una cuerda del techo y tenía un depósito de agua que era calentada por un pequeña llama que hacía hervir el agua. El vapor que se producía se escapaba por unos pequeños orificios en la parte trasera del pájaro, simulando el vuelo de la paloma.

Sin embargo, no es hasta finales del siglo XIX cuando en 1871, cuando **Alphonse Pénaud**, considerado el pionero de la aviación y "padre del aeromodelismo", logra hacer volar un aeromodelo diseñado y construido por él mismo y que llamaría "*Planophore*". Este aeromodelo tenía forma de aeroplano a escala y era propulsado por un sistema de bandas de goma retorcidas que hacían girar una hélice tractora de tiras de caucho retorcidas y equipado con dos alas y una cola estabilizadora, tal y como aparece en la Fig.1. El "*Planophore*" con una envergadura de 45 centímetros y un peso de unos 15 gramos, realizó el primer vuelo el 18 de agosto de 1871 en los jardines de Tullerías en París, Francia, logrando recorrer más de 40 metros en 12 segundos. Una versión moderna de estos prototipos de aeromodelismo "puro" continúa aún hoy en día a través del diseño de aeromodelos ultraligeros para la modalidad de "*slow fly*", cuyo objetivo es, con el mínimo peso, mantener en vuelo el mayor tiempo posible al prototipo.

A la figura de **Alphonse Pénaud** le siguieron otros investigadores que siguie-

ron experimentando con nuevos modelos, como fueron:

- **Víctor Tatín** en 1879, iniciador de los motores de aire comprimido, los cuales mediante un trabajo mecánico por expansión de aire lograban hacer girar las palas de los rotores, y que serían muy utilizados años más tarde.
- El ingeniero inglés **Lawrence Hargrave**, profesor de Ingeniería Aero-náutica de la Universidad de Sydney, Australia, quien en 1885 hizo volar unos 95 metros un modelo de "*alas batientes*", que consistía en unas alas rígidas y unas paletas batientes impulsadas por un motor de aire comprimido, iniciador de posteriores modelos de ornitópteros.

Los primeros intentos serios de crear VANT o UAV, denominación extendida en el campo militar, tal y como hoy los conocemos, comienzan durante el desarrollo de la I Guerra Mundial, entre los años 1914 y 1918, siendo los más destacados los siguientes [2]:

- **1916:** A finales de este año se construye en Reino Unido por el capitán **A.H Low** el "*Aerial Target*", un vehículo aéreo no tripulado controlado por radio desde tierra que pretendía servir como blanco aéreo de entrenamiento y como defensa contra los *Zeppelins*.
- **1917:** En este año se desarrolla el conocido como "*Torpedo Aéreo Kettering (Kettering Bug)*" por **Charles F. Kettering** de la *General Motors*, con los controles de los hermanos **Sperry**.

Finalizada la I Guerra Mundial y tras una década de recuperación llegaron nuevos avances en el campo de los UAV de la mano de Reino Unido y EEUU:

- **1933:** Es en este año cuando se logra con éxito que un vehículo aéreo no tripulado dirigido por control remoto utilizado como "*blanco aéreo*", pueda ser reutilizable y retornable. Se trata de un aeromodelo desarrollado a partir del biplano conocido como "*Fairey Queen*" y que se reci-

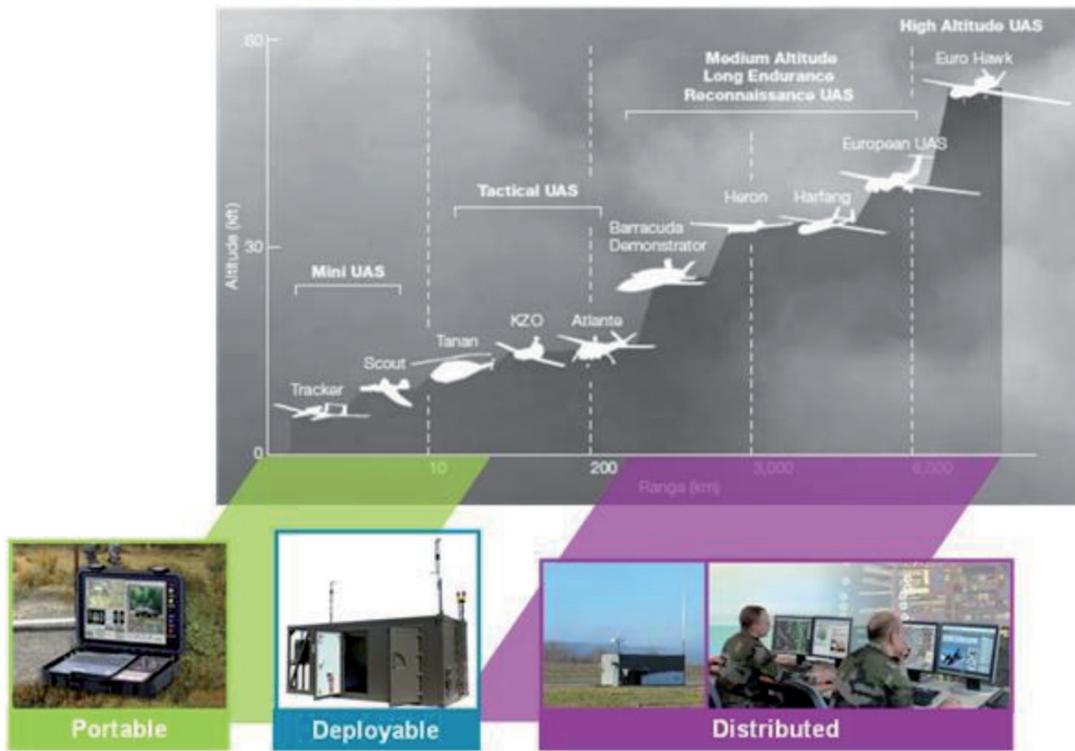


Figura 2: Tipologías en estaciones de tierra. Airbus Defence&Space. (Fuente: congreso UNVEX14)

biría el nombre de "DH82B Queen Bee". Sobre este modelo, el "Queen Bee" o "Abeja Reina", se dice que de algún modo fue el que dio lugar a la expresión "Drone" para los vehículos aéreos no tripulados.

- **1937:** En este año EEUU consigue remodelar unos biplanos Curtiss N2C-2 de tamaño real y los convierte en vehículos aéreos no tripulados de la serie "A" conocidos como "drones de ataque". Este aeroplano estaba dotado de un tren de aterrizaje tipo triciclo y se podía controlar desde tierra o desde otra aeronave.
- **Finales de la década de 1930:** A finales de esta década se logra desarrollar el primer "drone" producido en serie a gran escala en los EEUU, con el nombre de "Radioplane OQ-2" de 3,7 metros de envergadura y que sirvió como blanco volante para la formación de pilotos de combate y cuya recuperación se realizaba mediante paracaídas. Posteriormente durante el desarrollo de la II Guerra Mundial, se desarrollaron en USA los proyectos TDN-1 y TDR-1 concebidos como drones de ataque. El GM A-1 sucesor del Torpedo Ketterin Bug se produjo entre los años 41 a 43. Finalmente se utilizaron fortalezas volante radio controladas, denominadas BQ-7 (a partir del B-17) y BQ-8 (del B-24); que, básicamente, eran bombas volantes lanzadas desde tierra y radio controladas.

Después de la segunda guerra mundial:

- **1951:** Estados Unidos desarrolló en serie una producción de los llamados "AQM-34", un avión-blanco modificado para ser usado como aeromodelo de reconocimiento que se lanzaba desde un avión nodriza para realizar vuelos por unas rutas pre-programadas. Tras cumplir su misión y finalizada la ruta descendía en paracaídas siendo recuperado para su reutilización.
- **En los Años 80** el desarrollo de los UAV, en especial, los empleados en labores de vigilancia y reconocimiento se estancan a favor del uso de los satélites.
- **1994:** Primer vuelo de un UAV operativo modelo "Predator" de la compañía General Atomics equipado con el sistema de posicionamiento global GPS en lugar de estar pre-programado o de usar la línea de visión, por lo que lo hace mucho más fiable.
- **1998** Sobre esta fecha la compañía Northrop-Grumman desarrolla el UAV "RQ-4 Global Hawk", con capacidad de alcanzar gran altitud y con un largo alcance, diseñado para permanecer en el aire mucho tiempo sobre un territorio enemigo.

A lo largo de la historia se han acuñado los términos que tienen hoy en día una validez y aplicación internacional y casi única en todos los ámbitos. Estos términos son [3]:

- Aeronave pilotada remotamente (*Remotely-Piloted Aircraft, RPA*): una aeronave en la que el piloto al mando no está a bordo.
- Sistema de aeronave pilotada remotamente (*Remotely-Piloted Aircraft System, RPAS*): un conjunto de elementos configurables formado por un RPA, su estación de pilotaje remoto asociada (RPS, *Remote Pilot Station*), el sistema requerido de enlace de mando y control y cualquier otro elemento requerido en cualquier punto durante la operación del vuelo.

El resto de los acrónimos se corresponden con:

- UMA = Unmanned Aircraft
- APV = Automatically Piloted Vehicle
- UTA = Unmanned Tactical Aircraft
- UCAV = Unmanned Combat Air Vehicle;
- ROA = Remotely Operated Aircraft.
- UAV = Unmanned Aerial Vehicle
- UAS = Unmanned Aerial System

2. EL SISTEMA DE CONTROL DE MISIONES DE UN RPA

2.1. DESCRIPCIÓN DE UAV Y UAS

Significan "Unmanned Aerial Vehicle" y "Unmanned Aerial System", respectivamente. La primera se refiere exclusivamente a la plataforma de vuelo, mientras que la segunda al sistema completo, es decir, incluyendo no sólo el segmento aéreo sino también el enlace de comunica-

ciones y la estación de tierra en el caso de comunicaciones sin línea de visión. Por lo tanto, ambas apelaciones son correctas, dependiendo de si nos referimos a una parte o al conjunto del sistema [4], [5], [6], [7], [8].

El término "Unmanned" puede traducirse como "no tripulado", por lo que un UAV (o UAS) es cualquier aeronave (o sistema) en que el piloto no esté físicamente a bordo.

2.2. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN UAV

Un UAV es un sistema que incorpora una serie de elementos, que operando de

forma conjunta, lo convierten en una plataforma de gran capacidad funcional.

Los elementos clave de una plataforma UAV son:

- El fuselaje, batería y motor del UAV dependiendo de la clase.
- El sistema de guiado automático o "Flight Control System" (FCS).
- Unidad Inercial IMU y magnetómetro.
- Sistema de posicionamiento GPS.
- El sistema de control del "payload".
- Plataformas de observación fijas o ventrales giro-estabilizadas.
- Sistemas sensor requeridos para mediciones atmosféricas y medioambientales.

- Sistemas de transmisión / recepción de datos.

2.3. ESTACIONES TERRENAS

Las estaciones de control de UAV actuales pueden ser terrestres (GCS, *Ground Control Station*), marítimas (SCS, *Ship Control Station*) o aéreas (ACS, *Airbone Control Station*).

Dentro de las terrestres y dependiendo del tipo de UAV que se quiera manejar, se tienen distintos tipos de estaciones (Ver Fig. 2. Tipologías en estaciones de tierra. UNVEX14. *Airbus Defence&Space*):

- Las portátiles para tipo micro y mini UAS que se encuentran dentro de la clase 0, que llegan hasta los 10 km de alcance.
- Las desplegables para las plataformas tácticas, clase 1, que abarcan desde 10 a 200 km.
- Y para los sistemas más grandes de clase 2 y 3 en los que los sistemas de tierra están distribuidos y se pueden controlar en modo BVLOS (*Beyond visual Line of Sight*).

2.3.1. Elementos de Estaciones de Control Terrenas

La GCS (*Ground Control Station*) es la interfaz hombre-máquina con el *Vehículo Aéreo No Tripulado* (VANT) del sistema (Fig. 3). De esta manera, los operadores pueden enviar órdenes a la aeronave a través del sistema de comunicaciones de



Figura 3: Estación de control terrestre del UAV K50 de la compañía USOL. (Fuente: congreso UNVEX14)

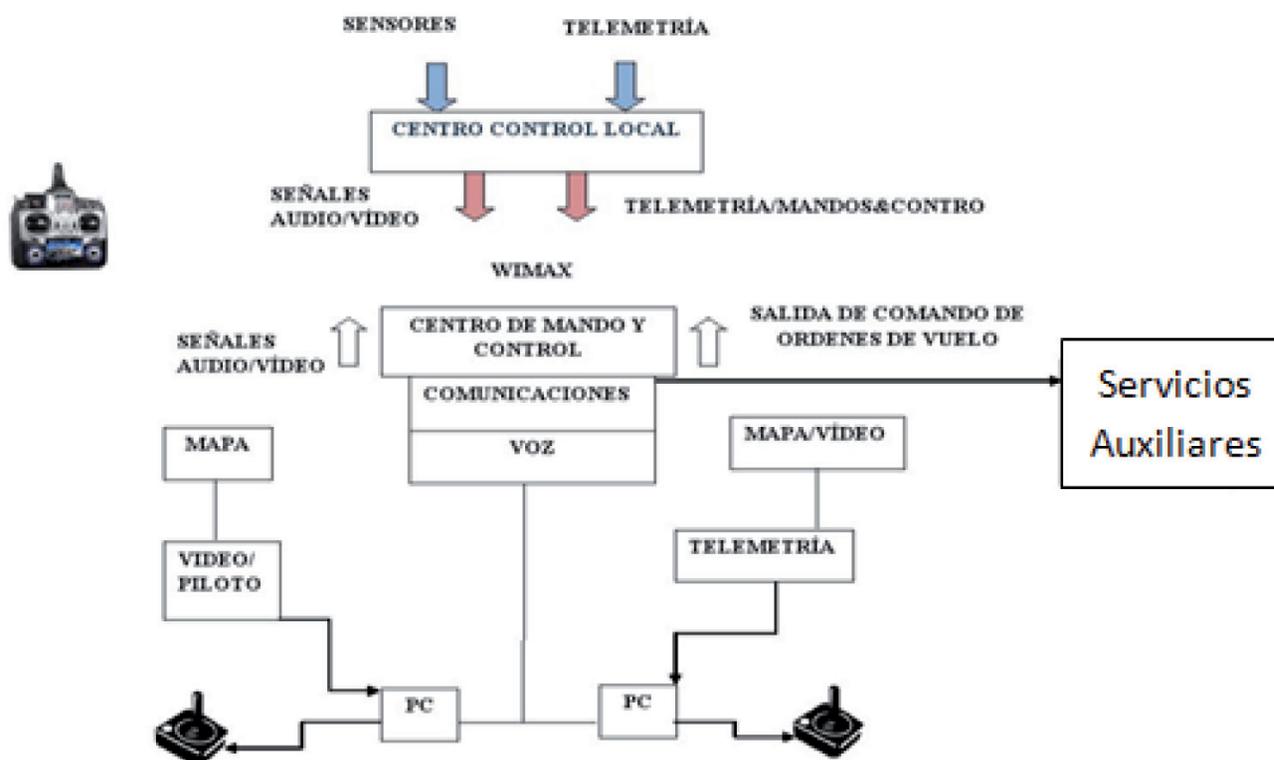


Figura 4: Esquema simplificado de CMC

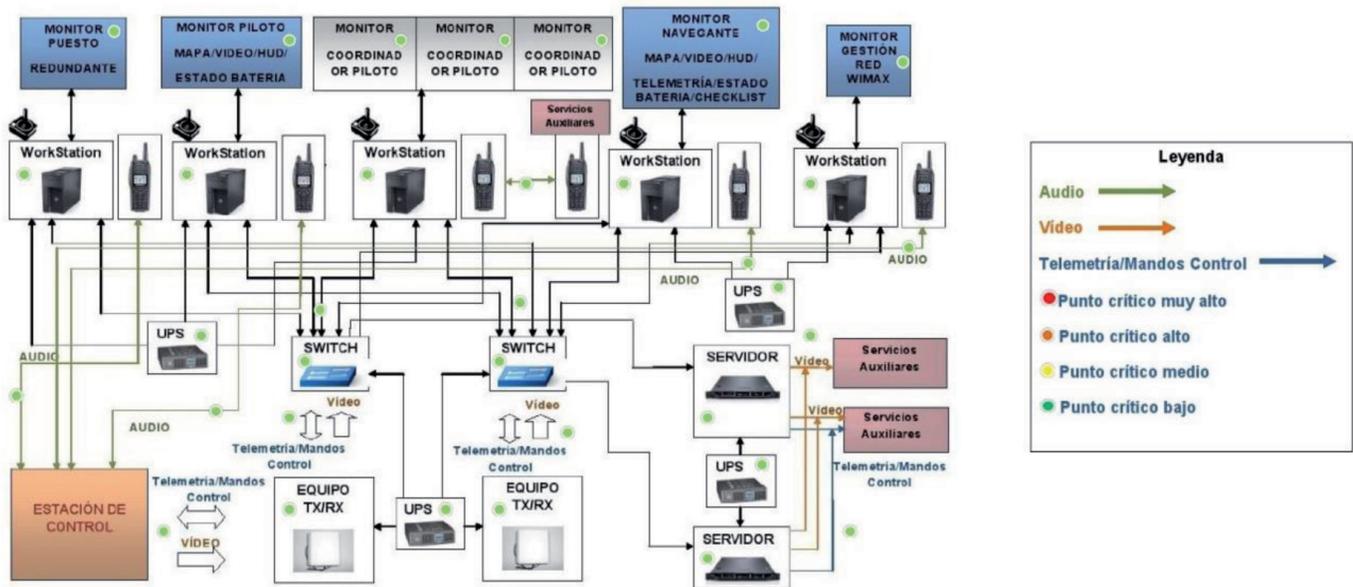


Figura 5: Esquema de la estación terrestre CMC remota mejorado con análisis de Fiabilidad

enlace ascendente con el fin de establecer el perfil de vuelo o para controlar el *payload* (carga útil) de la aeronave.

El avión devolverá información e imágenes a los operadores a través de las comunicaciones de enlace descendente, ya sea en tiempo real o bajo comandos. La información suele incluir datos de las cargas útiles, información sobre la situación de los sub-sistemas de la aeronave, la altitud y velocidad, e información de la posición.

El lanzamiento y la recuperación de la aeronave pueden ser controlados desde el

Centro de Control Local (CCL) *Visual Line of Sight* (VLOS), o desde el centro de mando y control (CMC) vía WIMAX o satélite *Beyond Visual Line of Sight* (BVLOS).

El CCL contendrá un determinado tipo de subsistemas, requeridos para lograr su funcionamiento general. Esto dependerá del alcance y tipo de misiones previstas y las características de los UAV que operará. En general, los subsistemas serán los siguientes:

- **Subsistema de control de vuelo de UAV:** El control de vuelo puede ser realizado de manera automáti-

ca o en tiempo real de manera manual. Para el primer caso, es posible encontrar comandos para realizar hover, flotar sobre un punto seleccionado (utilizado en multicópteros), ascender a una determinada altitud, etc. En todos los casos será conveniente la muestra de los datos gráficamente a través de una GUI (*Graphic User Interface* o Interfaz Gráfica de Usuario).

- **Subsistema de payload:** Reconoce y ajusta el payload instalado en el UAV, además de controlarlo. Inclu-



Figura 6: Interoperabilidad. Centro de mando y control. Airbus. (Fuente congreso UNVEX14)

ye también *displays* para visualizar los datos recibidos y el estado de los equipos instalados.

2.3.2. GCS de mini-UAV

Las GCS de aeronaves mini-UAV suelen ser de tipo "man-portable" con un sistema de comunicaciones y una antena embarcados en un maletín. Como ejemplo comercial, encontramos la GCS de *Thales*, *Expace* y *UAV-Tools*, las cuales incorporan una interfaz gráfica de usuario (GUI) y cuenta con un ordenador portátil con pantalla táctil, permitiendo a los operadores introducir con facilidad *waypoints* en un mapa.

La información básica mostrada puede integrar la imagen de una cámara, que iría en la posición del piloto, o ventral, la telemetría GPS e inercial, indicando variables como velocidad (en tierra) posición, ángulos de alabeo, cabeceo (horizonte artificial) y guiñada, relación de ascenso/descenso, compás con rumbo trazado y orientación del aparato y la posición sobre un mapa en 2D/3D.

2.3.3. GCS de Sistemas de UAV de Corto Alcance

En estos sistemas, el avión suele ser lanzado mediante una rampa o es de tipo VTOL (*Vertical Take Off and Landing*). Los requisitos y las capacidades de ambos sistemas serán en general similares, a excepción de los aspectos específicos del control durante el lanzamiento y la recuperación.

El GCS para los sistemas de corta alcance, por lo general, será móvil y alojado dentro de un vehículo todo-terreno. Suelen tener una antena DGPS (*Differential Global Positioning System*) montada en el techo para obtener medidas de posición con errores reducidos.

2.3.4. GCS de Sistemas de UAV MALE y HALE

Un sistema MALE (*medium-altitude, long-endurance unmanned aircraft system*), como el General Atomics MQ-1 Predator de 15 m. de envergadura, emplea normalmente una GCS móvil, ya sea en un vehículo motor o en un remolque para que pueda ser convenientemente posicionado en relación con la pista de aterrizaje.

El sistema HALE (*High-Altitude Long Endurance*) del *Global Hawk* de 40 m. de envergadura, emplea dos Comandos en Tierra/Elementos de control. Se trata del Sistema o Elemento de Lanzamiento y Recuperación (LRE) (*Launch and Recovery System-LRS*), y el Elemento de Control de la Misión (MCE).

También el MCE supervisa la operación automática de la aeronave durante su despegue y aterrizaje, que está apoyado por el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS).

Las comunicaciones entre el LRE y el MCE del *Global Hawk* se realizarán vía satélite y las comunicaciones vía radio se hacen vía UHF/VHF.

2.4. CENTRO DE MANDO Y CONTROL

Un Sistema de Control puede ser definido como un sistema o subsistema que está constituido por un conjunto de componentes que regulan el comportamiento de un sistema (o de sí mismos) para lograr un objetivo. En nuestro caso al tratar el control de misión de UAS, el objetivo es controlar todas aquellas partes móviles del avión que al ser utilizadas cambiando de posición, provocarán un efecto aerodinámico que alterará el curso del vuelo y tendrán la seguridad de un control correcto de la aeronave.

Para aplicaciones civiles en el caso de gestión de emergencias, el Instituto de Investigación IUSIANI de la Universidad de Las Palmas de G.C. ha desarrollado conceptualmente dos centros de mando que pueden trabajar subordinados o en paralelo según se disponga, interconectados por una red WIMAX [4]. En este caso un *Centro de Control Local* (CCL) supervisaría las operaciones del VANT (RPA) en modo de visión directa (VLOS) y toda la información, incluida imágenes, se trasladaría a *Centro de Mando y Control remoto* (CMC) en forma síncrona. Si se decide que el CMC tome el mando la operación del VANT pasaría a ser en modo BVLOS híbrido. Los diagramas que se corresponden con el centro de mando y control propuesto serían los que se ilustran en la Fig. 4 y Fig. 5.

Para el diseño se han tenido en cuenta criterios de fiabilidad de los equipos, utilizando técnicas AMFE.

2.5. CARACTERÍSTICAS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DEL CENTRO DE MANDO Y CONTROL EN CUANTO A INTEROPERABILIDAD

Las necesidades de los centros de mando y control contemplan las características que se muestran en la Fig. 6.

Es decir que permitan:

- Estaciones de control configurables que con un mismo mecanismo de control maneje diferentes plataformas de distintas clases e incluso al mismo tiempo, lo cual implica una

disminución de los costes.

- Mediante estándares abiertos y arquitecturas modulares ser capaces de ofrecer capacidad multisensor configurable, es decir, dependiendo de la plataforma y los sensores instalados, el segmento de tierra es capaz de adaptarse a las funcionalidades requeridas para manejar sensores electroópticos, sensores radar etc.
- Que todo forme parte de una red intercomunicada.
- Y que abarque múltiples misiones y/o una misión en la que existan distintos organismos interconectados.

2.5.1. Características a tener en cuenta en el diseño del centro de mando y control en cuanto a factores Humanos

Por último, desde el punto de vista ergonómico y en cuanto al factor humano se deben tener en cuenta los siguientes aspectos de diseño en los centros de mando y control:

- Sistema ergonómico.
- HMI (Interface hombre – máquina) intuitivo mediante el uso de pantallas táctiles.
- Sistema de automatización flexible.
- Optimización de la carga de trabajo.

Estas consideraciones harán que el factor de riesgo disminuya en relación al error humano debido a estrés y carga de trabajo.

PARA SABER MÁS

- [1] Trabajo Fin de Grado Aplicación de los Vehículos Aéreos No Tripulados civiles, (VANTS civiles), en la Seguridad, las Emergencias y el Control de Riesgos en Canarias". Autor: Alfredo Álvarez Hernandez
- [2] UAV Universe. <https://sites.google.com/site/uavuni/>. Última consulta: abril 2016
- [3] <http://drones.uv.es/origen-y-desarrollo-de-los-drones/>. Universidad de Valencia. Última consulta: abril 2016
- [4] Trabajo Fin de Grado Diseño del Centro de Mando y Control Remoto de un Vehículo Aéreo No Tripulado, utilizando técnicas AMFE. Autora: Lidia Esther Trejo Medina (EITE-ULPGC)
- [5] Trabajo Fin de Grado Diseño del sistema de control local de vuelo de un vehículo aéreo no tripulado utilizando técnicas AMFE Autor: Mario San Miguel Montesdeoca (EITE-ULPGC)
- [6] Sopt. Sistema de observación y prospección tecnológica del ministerio de defensa. http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/18/monografia_sopt_1.pdf
- [7] http://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/rpas/28_enero.aspx (AESAs)
- [8] Project no.: 314680 (Call: FP7-AAT-2012-RTD-1) ULTRA Unmanned Aerial Systems in European Airspace.