

Diseño y montaje de UAV para su uso en redes móviles 5G

Félix Vidarte⁽¹⁾, Nuria González⁽¹⁾, Fernando Ruiz⁽¹⁾, Javier Mata⁽¹⁾, Marta Solera⁽¹⁾
{fvidarte, nuriag, ferv, jmc, msolera}@ic.uma.es

⁽¹⁾ Telecommunication Research Institute (TELMA), Universidad de Málaga,

E.T.S. Ingeniería de Telecomunicación, Bulevar Louis Pasteur 35, 29010, Málaga (Spain).

Resumen—The advent of unmanned aerial vehicles (UAVs) has changed the landscape of telecommunications networks. The characteristics of UAVs make them a powerful tool capable of finding solutions and improvements for mobile networks. In 4G, they are used as mobile cell users. In 5G, they have been used as flying base stations serving users. In 6G, they are expected to act as a link between mobile users and the network infrastructure in orbit. This article describes the assembly of the UAV, detailing the components used and determining the maximum flight time. It also describes how the network assembly is performed, distinguishing between hardware and software architecture. The design of both the network and the UAV is crucial to making the most of the solutions offered by this new technology.

I. INTRODUCCIÓN

Los UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), también conocidos como drones, han sufrido una importante evolución en los últimos años, originando un gran interés dentro de las comunicaciones móviles, que han visto en estos dispositivos la posibilidad de ser utilizados como herramienta para desarrollar una infraestructura de red flexible y bajo demanda. En los últimos años se ha trabajado para incentivar su utilización en la próximas generaciones de redes móviles, dado que ofrecen soluciones en control remoto, entrega de datos, seguridad e inteligencia artificial [1]. Su rápido despliegue y gran movilidad hace que sean los candidatos perfectos para ayudar a las redes 5G o compensar sus fallos temporales debidos a catástrofes o emergencias [2]

. Hay diversos usos de los UAVs dentro del contexto de las redes móviles. Se pueden utilizar como usuario, nodo de red o con el fin de crear una red privada. En el primer caso, el dron se comporta como un usuario mas de la red, permitiéndole conexión a internet por la que se le puede enviar información de control y datos obtenidos por el UAV [3]. En el segundo caso el dron actúa como estación base (eNB) que permite ampliar la red en una situación determinada como eventos masivos o catástrofes naturales. [4]. En el último caso, permite poder conectar a diferentes usuarios de tierra entre ellos. Es una solución flexible y sencilla que puede conseguir dar solución a problemas puntuales. Dentro del contexto de la sexta generación de redes móviles gana bastante fuerza la idea de que los UAV van a tener un papel clave para conseguir mejorar las prestaciones de dispositivos conectados, latencia y velocidad de transmisión impuestos por la tecnología 5G [5].

En este artículo se describe de forma detallada como se ha realizado el diseño del UAV para un uso concreto, especificando componentes concretos y describiendo la comunicación entre UAV y GCS (*Ground Control State*). Un criterio de

diseño muy importante en estos dispositivos es el tiempo que será capaz de mantenerse el UAV en el aire. También se realiza una descripción de la red que se implementará, donde el dron será una estación base (eNB) de la misma.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: En la sección II nos centraremos en el montaje de UAV, así como en los criterios de diseño. En la sección III contaremos la estructura de la red que queremos realizar, tanto a nivel hardware como nivel software. Por último, realizaremos unas conclusiones y se expondrán trabajos futuros.

II. ARQUITECTURA FÍSICA Y MONTAJE UAV

En este apartado se describen los componentes utilizado en el montaje del UAV, detallando sus características más significativas así como las conexiones básicas para conseguir un funcionamiento correcto y seguro del dron.

A. Selección de componentes

Las capacidades de un UAV vienen descritas por los componentes utilizados en su construcción, describiéndose a continuación.

- **Estructura:** La estructura utilizada es **Tarot X6 Plegable**, construida principalmente con fibra de carbono, lo que le confiere una gran resistencia y ligereza. En la parte superior cuenta con una placa central de montaje que sirve como plataforma para la instalación de los componentes electrónicos. También cuenta con un tren de aterrizaje retráctil.
- **Motores:** El hexacóptero cuenta con seis motores **Tmotor U7 490KV - V2** y hélices **Tmotor X Carbon MF1503 15x5.4"**, proporcionando una calidad profesional y altamente eficiente que permite optimizar el uso de la batería, también se caracterizan por su reducido peso, características muy deseable en el UAV.
- **Localización GNSS:** Proporciona en todo momento las coordenadas GPS del UAV, es un sensor clave en el desarrollo de misiones no tripuladas, ya que nos permite conocer donde se encuentra el UAV controlado, y tomar decisiones consecuentemente. En este sistema se ha optado por **HERE 3 Módulo GPS GNSS M8P Pixhawk 2** que proporciona una precisión de $\pm 2,5$ metros y tiene compatibilidad con GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou, lo que proporciona una mayor precisión y fiabilidad. Adicionalmente, el sensor realiza correcciones diferenciales en tiempo real utilizando la tecnología RTK (Real Time Kinematic), lo que permite mejorar la precisión al rango de centímetros.

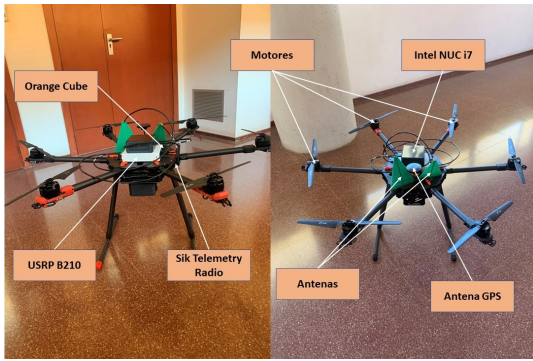


Fig. 1. Montaje UAV.

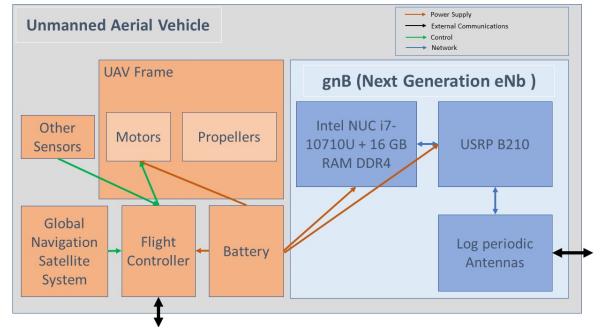


Fig. 2. Esquema UAV.

- **Batería:** Este es un parámetro de diseño importante, ya que delimitará el tiempo de vuelo del UAV. Se corresponde con la fuente de alimentación del sistema, donde se van a conectar todos los dispositivos que necesiten alimentación. En nuestro caso se ha elegido la batería *LiPo Tattu 6s 22.8V 23000mAh 25C HV*, formada por seis celdas con un potencial eléctrico de 3,8 voltios.
- **Unidad de Control de Vuelo:** También conocido como FCU *Flight Control Unit*, es el componente encargado de gestionar y controlar los sistemas de vuelo de un UAV. generalmente consta de un procesador de alto rendimiento, sensores de IMU (Unidad de Medición Inercial) como acelerómetros, giroscopios y magnetómetros, y otros sensores como barómetros, GPS (Sistema de Posicionamiento Global), y receptores de radio para la comunicación con el control remoto. El componente utilizado es *Pixhawk 2.1 Standard Set The Cube Orange*, que se caracteriza por su diseño modular y que consiste en varios módulos electrónicos interconectados para proporcionar capacidades de control de vuelo y navegación.
- **Unidad de Computo:** Se trata de un dispositivo que realiza acciones externas al manejo del UAV. Está muy relacionado con el uso que se le va a dar al dron. En este caso se ha optado por *Intel NUC i7-10710U + 16 GB RAM DDR4* debido a su gran capacidad de procesamiento de datos y tamaño y peso reducido. Además, es claramente el líder del mercado dentro de las computadoras compactas.
- **Radio Front-Ends:** Es un sistema externo que se encuentra en nuestro UAV para poder realizar una función de comunicación dentro del uso que se le va a dar al sistema dentro del montaje de una red móvil 5G. En este caso vamos a utilizar la plataforma de radio definida por software **USRP B210**, que nos permite transmitir y recibir datos entre 70 MHz y 6 GHz, con una buena calidad y un tamaño y peso reducidos.

Las figuras 1 y 2 contienen, respectivamente, una imagen y un esquema del dron con todos sus componentes.

B. Conexión UAV-GCS

La conexión entre el UAV y la GCS es fundamental para una navegación correcta y segura. Permite que el usuario que controla el sistema pueda comunicarse con el dron para establecer nuevas misiones o indicar instrucciones deseadas.

También permite que el UAV comparta información sobre el estado en tiempo real del dron. Transmite información de telemetría, posición GPS o nivel de carga de la batería entre otros muchos parámetros. Para controlar el UAV se utiliza la plataforma de código abierto **ArduPilot**. En la GCS se utiliza la aplicación software **Mission Planner**, que proporciona una interfaz gráfica permitiendo al usuario realizar diferentes acciones sobre el comportamiento del dron. Permite planificar y diseñar misiones de vuelo de forma visual, estableciendo objetivos, misiones, altitudes, velocidades, acciones y otros parámetros. También permite la monitorización en tiempo real de la ubicación, el estado del vehículo, la telemetría en vuelo, la grabación de datos de vuelo.

Para comunicar el UAV y la GCS se utilizará un enlace radio a 433 MHz, implementado con un módulo de telemetría con dos antenas dipolo conectadas al UAV y al GCS enlazadas continuamente. La longitud de transmisión máxima del enlace es de unos 500 metros aproximadamente, teniendo en cuenta las condiciones del enlace (condiciones climatológicas, si hay línea de visión directa o no).

C. Protocolo de telemetría MAVLink

El protocolo de comunicación de datos de telemetría entre el UAV y la GCS es MAVLink (*Micro Air Vehicle Link*)[6]. Es un protocolo ligero y de código abierto que permite la comunicación bidireccional entre el controlador de vuelo del UAV y la GCS de control. Dentro del protocolo MAVLink podemos encontrar una gran variedad de tipos de mensaje. Los más importantes son los siguientes:

- **Mensajes de estado:** Estos mensajes se utilizan para transmitir el estado actual del dron, incluyendo el estado de los sensores, actuadores, y otros datos relevantes sobre el estado operativo del sistema.
- **Mensajes de control:** Estos mensajes envían desde la estación terrestre de control al autopiloto del dron. Pueden incluir comandos para el control de la actitud (orientación), la velocidad o el modo de vuelo, entre otros.
- **Mensajes de parámetros:** Estos mensajes se utilizan para transmitir y configurar parámetros del sistema, como ajustes de configuración del autopiloto, límites de vuelo, configuración de sensores, y otros parámetros de configuración del sistema.
- **Mensajes personalizados:** MAVLink permite la definición de mensajes personalizados, lo que significa que los

desarrolladores pueden crear mensajes personalizados para transmitir datos y comandos específicos de su aplicación o sistema.

D. Fundamentos de diseño

Tras realizar un diseño por componentes del UAV debemos verificar la viabilidad del diseño [7]. Para ello calcularemos cual es el consumo total del sistema siguiendo la ecuación 1

$$P_T = P_F + P_C + P_R + P_L \quad (1)$$

Donde P_T es la potencia media total consumida por el sistema durante una misión, P_F es la potencia media requerida para mantener el UAV en el aire, P_C es la potencia media requerida para alimentar los sistemas de computación, P_R es la potencia media requerida para alimentar el sistema radio (USRP) y P_L es la potencia perdida.

Para calcular el tiempo medio de vuelo seguiremos la ecuación:

$$t_f = \frac{E_T}{P_T} = \frac{E_T}{P_F + P_C + P_R + P_L}, \quad (2)$$

donde E_T es la energía total almacenada en la batería del UAV y P_T es la potencia media total calculada utilizando (2). Definimos el peso total del UAV en el tiempo de vuelo como AUW (All Up Weight). Este peso incluye el peso de la estructura, baterías, unidades de computo, sistemas radios y demás componentes del UAV durante el tiempo de vuelo (expresado en kg). Para un UAV propulsado por motores rotativos el valor del AUW es una buena aproximación del empuje medio (\bar{T}). Para calcular el empuje medio por motor utilizamos la ecuación 3

$$\bar{T}_m = \frac{\bar{T}}{n_m}, \quad (3)$$

donde n_m es el número de motores que tiene el UAV.

Para que el diseño del UAV sea correcto debemos asegurarnos de que la carga máxima del dron durante el tiempo de vuelo, AUW, debe ser como máximo la mitad del empuje generado por los motores al 100 % de rendimiento. Esto es equivalente a conseguir que la carga máxima sea inferior al empuje total de los motores al 60 %, expresado como

$$\max(AUW) \leq T_{60\%}. \quad (4)$$

A continuación, debemos conocer aproximadamente el tiempo de vuelo (t_f). El empuje generado por el motor es una función de la potencia eléctrica suministrada al mismo. El análisis de la fuerza de empuje en función del suministro eléctrico se obtiene de los datos proporcionados por el fabricante. Conociendo el consumo eléctrico de un motor podemos conocer la potencia media necesaria para que el UAV se mantenga en el aire, P_F , que viene dada por

$$P_F \approx n \cdot P_m(T_m) = n \cdot P_m(T/n) = n \cdot P_m(AUW/n). \quad (5)$$

Utilizando (2) y (5), suponiendo P_L despreciable, y conociendo que solo el 80 % - 90 % de la capacidad de la batería es útil si no se la quiere dañar (en baterías de polímero de litio o de ión de litio) se obtiene la ecuación

$$t_f = \frac{0,8 \cdot Batt_{Wh}}{n \cdot P_m(AUW/n) + P_C + P_R}. \quad (6)$$

E. Cálculo del tiempo de vuelo

En primer lugar calcularemos el peso del dron durante el vuelo (AUW) según

$$AUW = M_{Frame} + M_{Batt} + M_{Radio} + M_{UC} + n \cdot M_m + M_{UCV} \quad (7)$$

donde M_{frame} es el peso de la estructura, 9 kg en este trabajo. M_{Batt} es el peso de la batería (2,45 kg), M_{Radio} es el peso de la placa USRP B210 (0,3 kg), M_{UC} es el peso de la unidad de computo (1,22 kg), M_m es el peso de cada motor y hélices (6*, 0,28 kg=1,68 kg) y M_{UCV} es el peso de la unidad de control de vuelo (0,075 kg). El peso total en vuelo del dron (AUW) resulta 14,725 kg.

Los valores de potencia media requerida por la unidad de computo (P_C) y el sistema radio P_R , obtenidos de sus hojas de características [8] [9], son de 65 W y 18 W, respectivamente. Para el cálculo de la potencia suministrada por la batería, $Batt_{Wh}$, partimos de una capacidad de 23000 mAh y un voltaje de 22,6 V, lo que resulta que la batería tiene una capacidad de almacenamiento energético de 524,4 Wh.

Por último, para el cálculo de P_F , el empuje que debe realizar cada motor es de $AUW/6$, es decir, 2,454 kgf por motor. Consultando la hoja de características del motor tenemos un consumo de aproximadamente 400 W por motor. Con todos los datos anterior, y usando (6) se obtiene un tiempo de vuelo $t_f = 0,21$ horas, es decir, unos 10 minutos.

III. DISEÑO DE RED

Para el diseño de la red radio se van a utilizar unidades radios definidas por software (USRP), que es un sistema radio que utiliza software para procesar las señales radio en lugar de hardware tradicional. Las funciones que normalmente son implementadas por componentes electrónicos como mezcladores, amplificadores y filtros, son implementadas utilizando un procesador de señales digitales (DSP) o una computadora.

A. Arquitectura O-RAN

Una red Open RAN, o Red de Acceso Abierto, es un enfoque de arquitectura de red para redes de telecomunicaciones inalámbricas que se basa en estándares abiertos y desagrega los componentes de la red de acceso, como las estaciones base, controlador de red o software de gestión, permitiendo la interoperabilidad y la flexibilidad en la elección de proveedores y tecnologías.

B. Implementación Hardware

La arquitectura hardware que se quiere llevar a cabo consiste en el montaje de una pequeña red 5G con dos estaciones base *gnB* conectadas a un núcleo de red 5G. Una de las dos *gnB* se encuentra en tierra, mientras que la otra se encuentra a bordo del UAV. En la Figura 4 se puede observar la arquitectura descrita.

La estación terrena está formada por una USRP N310, Figura 3, y un equipo con gran capacidad de computo. Además, en este equipo se encuentra ejecutándose el núcleo de red 5G.

La estación aérea está formada por una USRP B210 y un Intel Nuc i7-10710U. En este equipo solo se implementa la estación base, que se encuentra conectada con el núcleo

