



UNICO I+D Project
6G-SORUS-DRONE

SORUS-DRONE- A3.2-E2

Prototipo Inicial de UAV

Abstract

The SORUS-DRONES project focuses on the challenges posed by the integration of unmanned aerial vehicles (UAVs, UAS, drones) with virtualized radio access networks (vRAN) and reconfigurable intelligent surfaces (RIS) in the deployment and operation of a B5G network. The design and development of the UAV solution will be carried out in accordance with the needs of the use cases that will validate the developments achieved in the other subprojects (vRAN and RIS), as well as the state-of-the-art technology related to drones, communications, and AI-Edge Computing.

This document describes the specifications and preliminary tests of the First Prototype built for the project.

Propiedades del documento

Número de documento	SORUS-DRONE-A3.2-E2
Título	Prototipo inicial de UAV
Editor	Miguel Rosa (AEROTOOLS)
Responsable del documento	Miguel Rosa (AEROTOOLS)
Equipo de redacción	Alberto Cristóbal Granda, Pablo Gutierrez Benavides, Jonathan Martínez Díez, Jeremy Comellas (AEROTOOLS)
Target dissemination level	
Status of the document	
Version	1.0
Delivery date	29/12/2023
Actual delivery date	29/12/2023

Revisión

--	--

Descargo de Responsabilidad

Este documento ha sido generado en el contexto del 6G-SORUS-XXX. La investigación que ha llevado a estos resultados ha recibido financiación del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de España y de la Unión Europea-NextGenerationEU a través del programa UNICO 5G I+D.

Toda la información en este documento se proporciona "tal cual" y no se ofrece ninguna garantía de que la información sea adecuada para algún propósito en particular. El usuario utiliza la información bajo su propio riesgo y responsabilidad.

Contenido

Lista de Gráficos	4
Lista de Abreviaturas y Acrónimos	5
Resumen Ejecutivo	6
1. Introducción	7
2. Especificaciones del Prototipo Inicial	9
3. Desarrollo del Prototipo Inicial	24
3.1. Apartado PLATAFORMA	24
3.2. Apartado PROPULSIÓN	47
3.3. Apartado ALIMENTACIÓN	51
3.4. Apartado ELECTRÓNICA	54
3.5. Apartado COMUNICACIONES	55
3.6. Apartado CARGA DE PAGO	59
4. Informes de pruebas del Prototipo Inicial	61
5. Proyección a Prototipo Final	66
Referencias	67

Lista de Gráficos

Figura 1. Gráfico funcional del proyecto SORUS	7
Figura 2. Imágenes del PROTOTIPO INICIAL en pruebas de vuelo.....	8
Figura 3. Trabajos en Oficina Técnica sobre el PROTOTIPO INICIAL	10
Figura 4. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: M300.....	25
Figura 5. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: M600.....	26
Figura 6. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: AGRAS T30	27
Figura 7. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: H850	28
Figura 8. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: COMMANDER 3XL	29
Figura 9. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: COMMANDER 3XL HYBRID.....	30
Figura 10. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: ALTA X	31
Figura 11. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PERIMETER 8	32
Figura 12. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PERIMETER 8+	33
Figura 13. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SKYLLE II.....	34
Figura 14. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SKYLLE 1550	35
Figura 15. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: NOTUZI II M30 PRO	36
Figura 16. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: NOA H6 HYBRID	37
Figura 17. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SENSUS L4-H2	38
Figura 18. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SENSOS L8-XT	39
Figura 19. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PRISM LITE	40
Figura 20. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PRISM SKY.....	41
Figura 21. Imagen de opción de VTOL en estudio: BABY SHARK	42
Figura 22. Imagen de opción de VTOL en estudio: GREAT SHARK.....	43
Figura 23. Imagen de opción de VTOL en estudio: AUK 350 HEAVY LOAD.....	44
Figura 24. Imagen de opción de VTOL en estudio: DELTA QUAD PRO CARGO	45
Figura 25. Imagen de opción de VTOL en estudio:TRINITY F90	46
Figura 26. Imagen de tipo de hélice en estudio: T-MOTOR CF con núcleo de espuma rígida.....	48
Figura 27. Imagen de tipo de hélice en estudio: T-MOTOR polímero	49
Figura 28. Imagen de tipo de hélice en estudio: FOXTECH SUPREME	49
Figura 29. Imagen de tipo de hélice en estudio: FOXTECH OPTIMAL.....	49
Figura 30. Imagen de tipo de hélice en estudio: RCT TIMER	49
Figura 31. Mapas de cobertura nacional en 4G y 5G	55
Figura 32. Imagen de dispositivo en estudio: VL5G	56
Figura 33. Imagen de dispositivo en estudio: CUAV LTE LINK	56
Figura 34. Imagen de dispositivo en estudio: XB STATION	56
Figura 35. Imágenes de pruebas en Oficina Técnica sobre PROTOTIPO INICIAL.....	61
Figura 36. Imagen de pruebas en Oficina Técnica sobre PROTOTIPO INICIAL.....	62
Figura 37. Imagen de pruebas en Oficina Técnica sobre PROTOTIPO INICIAL.....	63
Figura 38. Imágenes de pruebas en Campo de Vuelo con PROTOTIPO INICIAL	64
Figura 39. Imágenes de pruebas en Campo de Vuelo con PROTOTIPO INICIAL	65

Lista de Abreviaturas y Acrónimos

4G-LTE	Fourth Generation - Long-term evolution
4S	4 Cells (Batteries)
5G	Fifth-generation
6G	Sixth Generation of Wireless Communication Technology
6S	6 Cells (Batteries)
B5G	Beyond 5G
BEC	Battery Eliminator Circuit
BS	Base Station
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
GIS	Geographical Information System
gNB	Next Generation NodeB
IA	Inteligencia Artificial
ID	Identity
IP	Internet Protocol
KPIs	Key Performance Indicators
Li-Ion	Batería de iones de litio
Li-Po	Batería de polímero de litio
LoS	Line of Sight
MPP	Modelo Predicción Prestaciones
MTOW	Maximal Take Off Weight
PWM	Pulse-Width Modulation
RIS	Reconfigurable Intelligent Surface
RP	Raspberry Pi
SD	Secure Digital
UAM	Urban Air Mobility
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UE	User Equipment
USB	Universal Serial Bus
VPN	Red Privada Virtual
vRAN	Virtualized Radio Access Network
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
Wifi	Red inalámbrica de área local

Resumen Ejecutivo

El proyecto SORUS-DRONES se centra en los retos que plantea la integración de vehículos aéreos no tripulados (UAV, UAS, drones) con redes de acceso radioeléctrico virtualizadas (vRAN) y superficies inteligentes reconfigurables (RIS) en el despliegue y funcionamiento de una red B5G.

Para los objetivos del proyecto SORUS, se están diseñando y perfilando aeronaves específicas, con los elementos hardware, especificaciones y prestaciones adecuados para los casos de uso definidos en la tarea A1.2.

En esta fase, se ha configurado un PROTOTIPO INICIAL que servirá de plataforma de prueba de los diferentes sistemas en desarrollo por separado y como base para el desarrollo del PROTOTIPO FINAL, un dron de mayor tamaño, dimensionado para embarcar los sistemas previstos en cada caso de uso

1. Introducción

Una vez definido un diseño preliminar del UAV cuyas características se adaptan a las diferentes aplicaciones previamente definidas y realizada una primera iteración de la fase de PERFILADO, apoyada en el Modelo de Predicción de Prestaciones (MPP) en desarrollo, el cual se ha previsto como PROTOTIPO INICIAL, se procede a su fabricación y puesta a punto para la fase de pruebas de sistemas en vuelo y los desarrollos que llevarán al PROTOTIPO FINAL.

Este dron tiene una configuración básica con un diseño modular, de manera que, en función de cada caso de uso, se le podrá implementar elementos o sistemas adicionales más específicos para la operación concreta, a la vez que se pueden desconectar los dispositivos o sistemas que no se requieran para dicha operación.

Para ajustarse a las tareas y tiempos definidos en el proyecto y optimizar los trabajos de integración se ha planificado el desarrollo del prototipo en dos fases:

- En la primera, se ha fabricado un PROTOTIPO INICIAL, un dron de tamaño reducido, en torno a los 10 kg MTOW, que servirá de plataforma de prueba de los diferentes sistemas en desarrollo por separado, que permita la incorporación sucesiva de sistemas y la integración de sistemas superpuestos en sucesivas iteraciones. El disponer de un equipo de menor tamaño al previsto ofrece las ventajas de una operación más sencilla, contención de costes y posibilidad de sustitución más rápida en caso de incidentes.
- En la segunda, se producirá el PROTOTIPO FINAL, un dron de mayor tamaño, con el límite superior de los 25 kg MTOW que son recomendables atendiendo a la legislación en vigor, dimensionado para embarcar los sistemas previstos en cada caso de uso.

En el siguiente gráfico se puede ver el planteamiento funcional del proyecto, que refleja el proceso en relación a los PROTOTIPOS:

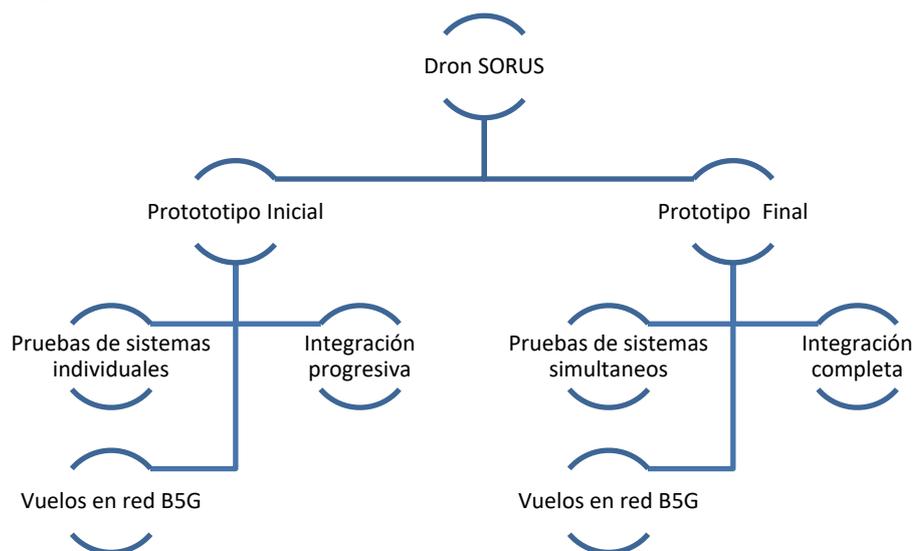


Figura 1. Gráfico funcional del proyecto SORUS

El PROTOTIPO INICIAL se encuentra operativo y ha realizado ya vuelos de prueba para la validación de su funcionamiento y las primeras pruebas de sistemas, como se puede ver en las siguientes imágenes.

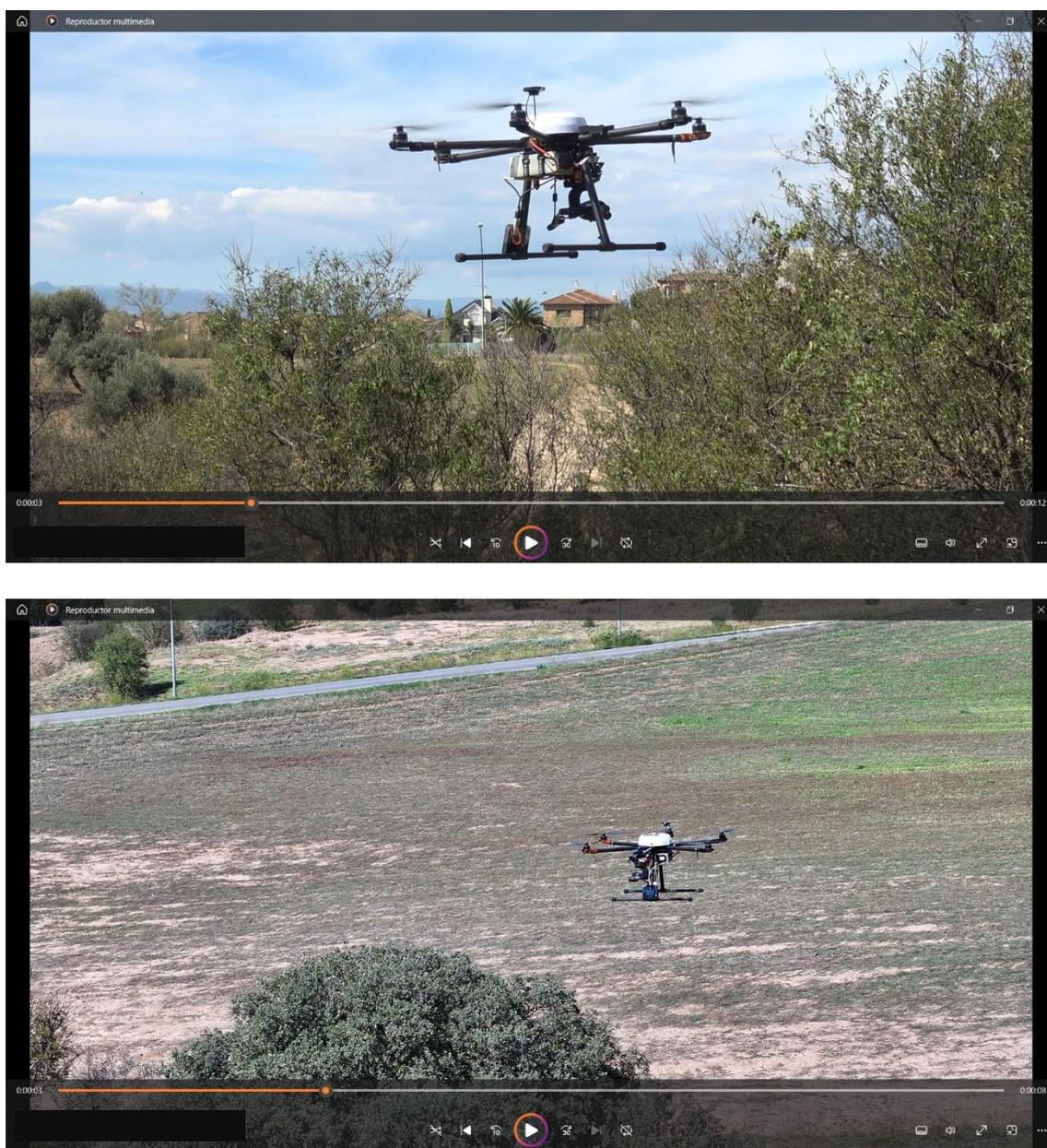


Figura 2. Imágenes del PROTOTIPO INICIAL en pruebas de vuelo

2. Especificaciones del Prototipo Inicial

En este apartado se recoge la caracterización de la aeronave PROTOTIPO INICIAL, así como sus componentes principales, de acuerdo con la documentación exigida por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, para dar cumplimiento a la Normativa europea consolidada:

- Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 consolidado que incluye los cambios del Reglamento de Ejecución (UE) 2020/639, Reglamento de Ejecución (UE) 2020/746, Reglamento de Ejecución 2021/1166 y Reglamento de Ejecución (UE) 2022/425.
- Reglamento Delegado (UE) 2019/945 consolidado que incluye los cambios del Reglamento Delegado (UE) 2020/1058.



Figura 3. Trabajos en Oficina Técnica sobre el PROTOTIPO INICIAL

AERONAVE: PROTOTIPO INICIAL SORUS	
IDENTIFICACIÓN, CONFIGURACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Fabricante: AEROTOOLS-UAV, S.L. Modelo: SORUS PROTOTIPO INICIAL Matrícula: AT6-SORUS-01	
Multirroto de 6 motores situados en el mismo plano	
Certificado de aeronavegabilidad	SI NO
Masa máxima al despegue (MTOM): 7,8 kg	
Dimensiones Largo: 88 cm Sin hélices Ancho: 102 cm Sin hélices Altura: 55 cm Diámetro entre rotores opuestos: 98 cm	

Vista superior



Vista delantera



Vista lateral

Número de motores: 6 motores marca T-Motor modelo MN4014-9 400KV de 900 W con un peso individual de 150 g.

COMPOSICIÓN DEL FUSELAJE				
Chasis de aluminio moldeado, tubos de fibra de carbono, placas de fibra de carbono, tornillería de acero y piezas impresas en 3D en ABS.				
TREN DE ATERRIZAJE		SI	NO	
Tipo	Fijo	Retráctil	Otro	
Características	Ruedas	Patines	Patas	Otro
Descripción: Tren de aterrizaje formado por dos tubos de fibra de carbono y aluminio.				

ELEMENTOS DE VISIBILIDAD			
Pintura: negra			
Luces	SI	NO	Intensidad: baja
Luces de visibilidad de la aeronave: El equipo lleva instalados LED de alta luminosidad en el GPS.			
Luces de control: Los LED también sirven para informar del estado del equipo.			

PROPULSIÓN															
TIPO															
<u>Eléctrico</u>	Combustión	Híbrido	Otro												
<p>Descripción: Sistema de alimentación eléctrica mediante baterías de polímero de Litio.</p> <p>Motorización: 6 motores marca T-Motor modelo MN4014-9 400KV de 900 W con un peso individual de 150 g.</p> <p>Control de velocidad de los motores: 6 variadores marca Hobbywing de 40 A montados en los brazos de la aeronave. Controlados por señal independiente PWM con un voltaje nominal de trabajo de 22.2V (equivalente a baterías de 6 celdas en serie de polímero de litio (3.7V nominales por celda)).</p> <table border="1" data-bbox="269 972 1139 1314"> <tbody> <tr> <td>Consumo Max. (60 Seg. Max):</td> <td>500W x 6 = 3.000W = 120A</td> </tr> <tr> <td>RPM/V:</td> <td>400 Rpm/V</td> </tr> <tr> <td>RPM Max:</td> <td>8.880 Rpm</td> </tr> <tr> <td>Hélices</td> <td>17 x 5,8 pulgadas</td> </tr> <tr> <td>Potencia eléctrica</td> <td>Max 3.000 W</td> </tr> <tr> <td>Empuje máximo</td> <td>12.000 g</td> </tr> </tbody> </table>				Consumo Max. (60 Seg. Max):	500W x 6 = 3.000W = 120A	RPM/V:	400 Rpm/V	RPM Max:	8.880 Rpm	Hélices	17 x 5,8 pulgadas	Potencia eléctrica	Max 3.000 W	Empuje máximo	12.000 g
Consumo Max. (60 Seg. Max):	500W x 6 = 3.000W = 120A														
RPM/V:	400 Rpm/V														
RPM Max:	8.880 Rpm														
Hélices	17 x 5,8 pulgadas														
Potencia eléctrica	Max 3.000 W														
Empuje máximo	12.000 g														
SISTEMA															
<u>Hélices</u>	Turbinas	Otro													
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 Hélices 17 x 5,8 CCW con fijación a eje de motor con rosca a derechas. - 3 Hélices 17 x 5,8 CW con fijación a eje de motor con rosca a izquierdas. 															
FUENTE DE ENERGIA															
<p>Baterías Li-Po. 6S (6 Celdas en serie) = 6 x 3.7V = 22.20V</p>															

SISTEMAS DE CONTROL Y/O POSICIONAMIENTO
CONTROLADORA DE VUELO
<p>Marca: Hex Technology</p> <p>Modelo: Placa estabilizadora Pixhawk Cube Orange compuesta por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 acelerómetros de 3 ejes - 3 giróscopos de 3 ejes - 3 magnetómetros - 2 barómetros - GNSS + RTK - Receptor ADS-B
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO
<p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de estabilización por grupos redundantes de giróscopos y acelerómetros. - Control de la posición por GNSS+RTK y magnetómetros de 3 ejes. - Mantenimiento de altura automático por doble sensor de presión atmosférica con ayudas de acelerómetro en eje Z y GPS. - Sistema de Posicionamiento por RTK (Real Time Kinematic) (Opcional).
SISTEMAS DE TERMINACIÓN SEGURA DEL VUELO
<p>Descripción:</p> <p>El equipo dispone de GNSS + RTK para que pueda mantener la posición, vuelo asistido, navegación mediante Way-points y en caso de emergencia o pérdida de señal volver al punto de despegue.</p>
MODOS DE VUELO
<p>Descripción:</p> <p>La estación de pilotaje está configurada en el modo 2 de manera predeterminada, por lo que el comportamiento del equipo en el momento de proceder a su pilotaje será el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Al mover la palanca izquierda hacia arriba y abajo, cambiará la elevación del equipo. Hacia arriba ascenderá y hacia abajo descenderá. - Cuando las dos palancas estén centradas el equipo volará en modo estacionario. - Al mover la palanca izquierda hacia la izquierda o hacia la derecha, se controlará el timón y la rotación, cambiando la orientación del equipo. - Al mover la palanca derecha hacia arriba o hacia abajo, el equipo avanzará hacia delante o hacia atrás. - Al mover la palanca de control derecha hacia la izquierda o hacia la derecha, el equipo alabeará a izquierda o a derecha.

El equipo puede ser pilotado mediante cinco modos de vuelo seleccionables a través de varios interruptores con los que cuenta la estación de pilotaje:

- Modo Loiter: Es el modo principal de vuelo y está asistido por GNSS. El piloto mantiene el control de la posición del multirroto en todo momento, pero es el autopiloto el que decide las acciones a realizar cuando se ordena un movimiento a la aeronave. El modo Loiter incorpora ciertas limitaciones de velocidad y de actitud, que hacen que el control de la aeronave sea muy sencillo. Este es el modo de control "manual" más seguro.
- Modo Alt-Hold: Es un modo estabilizado sin asistencia GNSS pero con control de altura. La respuesta de control en este modo es más dinámica que en Loiter y el aparato no mantiene la posición en planimetría.
- Modo Auto: El sistema ejecuta una programación de vuelo automático previamente cargada.
- Modo Alt-Hold Super Simple: Es similar al modo Alt-Hold, salvo que la orientación de la aeronave pasa a ser "Sin Cabeza", permitiendo que, independientemente de la orientación de la proa del aparato, éste responderá al mando en relación a nuestra posición (punto de despegue). Por tanto, el aparato responderá siempre como si estuviera mostrándonos la popa.
- Modo RTL: Se trata de una orden de retorno a casa. Cuando se activa este modo de vuelo el aparato se elevará hasta una altura marcada en los parámetros del equipo y cuando haya alcanzado dicha altura realizará una ruta directa de vuelta a casa, manteniendo la altura y aterrizará. Tras el aterrizaje desarmará los motores.

ESTACIÓN DE CONTROL Y COMUNICACIONES
TIPO DE ESTACIÓN DE CONTROL
<p>Emisora de radio control con comunicación bidireccional con un rango de funcionamiento de hasta 1.000m.</p> <p>Marca: FR Sky Modelo: TARANIS X9D Plus Receptor: FR-X8R Baterías emisora recargables de Li-Ion de 7.4V (2S). Sistema de transmisión: digital con identificación de emisor y receptor y codificación con salto de banda. Funcionalidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Telemetría completa, capaz de transmitir y recibir datos de estado del equipo. - Alarma RSSI, ofrece un sistema de seguridad que advierte de problemas de recepción de señal. - Haptic Feedback sistema de notificación por vibración. - 16 canales (32 canales cuando se combina con un módulo externo XJT adicional). - 60 memorias de modelos (1000+ usando tarjeta de memoria micro SD). - 64 mezcladores, 9 modos de vuelo. - 16 curvas personalizadas con 3-17 puntos cada uno, 32 interruptores lógicos. - Alertas de sonido y voz personalizables. - Conector USB y ranura para tarjeta de memoria micro SD para expansión del sistema. - Sistema de largo alcance, capaz de hasta 2 veces más alcance que otros sistemas de 2.4 GHz. - Software de código abierto Open TX. - Gran pantalla LCD de 212 x 64 con retroiluminación. - Muestreo de datos en tiempo real. - Bloqueo del receptor (sistema cerrado a las aeronaves - limitado a receptores de la serie FrSky X). - Compartimento de expansión para módulos estilo JR para módulos transmisores de RF adicionales. - Modo de control seleccionable de vuelo (1, 2, 3, o 4) - 2 temporizadores, cronometro ascendente y descendente, cronometro activable por porcentaje del acelerador. - Conector tipo Jack 3.5mm estándar, para Salida / Entrada de señales de control usado habitualmente como puerto trainer.
<p>Aplicación de móvil/ordenador Marca: MISSION PLANNER</p>

ENLACE DE COMUNICACIÓN DE CONTROL		
<p>Frecuencia de funcionamiento: 2,4 GHz Potencia de transmisión (EIRP): inferior a 100 mW. Cumple CNAF UN-85 RLANs y datos en 2400 a 2483,5 MHz UN-51 Aplicaciones ICM por encima de 2,4 GHz</p> <p>Descripción:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comunicación digital bidireccional con canales proporcionales incluyendo palancas y potenciómetros - Comunicación unidireccional entre emisora y receptor. 		
ENLACE DE COMUNICACIÓN DE TELEMETRÍA	SI	NO
<p>Descripción: Telemetría por comunicación bidireccional de datos. Integrado en comunicación de control. Frecuencia de funcionamiento: 433 MHz Potencia de transmisión (EIRP): inferior a 100 mW.</p>		
ENLACE DE COMUNICACIÓN DEL SISTEMA DE VÍDEO (FPV)	SI	NO
<p>Descripción: transmisión de audio y vídeo unidireccional. Frecuencia de funcionamiento: 5,8 GHz Potencia de transmisión (EIRP) : inferior a 600 mW. UN-143 Aplicaciones de acceso inalámbrico en 5,8 GHz</p>		
ENLACE DE COMUNICACIÓN DE LA CARGA DE PAGO	SI	NO
<p>Descripción: Mando de accionamiento unidireccional (dispositivo de limitación de energía de impacto). Frecuencia de funcionamiento: 2,4 GHz Potencia de transmisión (EIRP) : inferior a 100 mW.</p>		

CARGA DE PAGO	SI	NO
TIPO		
<p data-bbox="150 353 842 389">Fija <u>Intercambiable</u></p> <p data-bbox="150 434 456 465">Sistemas embarcados:</p> <p data-bbox="150 472 496 504">Sistema fotografía y vídeo:</p> <ul data-bbox="197 510 1238 658" style="list-style-type: none"> - Soporte de cámara giro-estabilizado de 3 ejes capaz de manejar una cámara de hasta 500 g de peso. - Transmisor de vídeo inalámbrico con una frecuencia de funcionamiento de 5.8 GHz. <p data-bbox="150 703 651 734">Dimensiones del soporte de cámara:</p> <p data-bbox="150 741 416 772">Ancho: Hasta 30 cm.</p> <p data-bbox="150 779 300 810">Alto 28 cm.</p> <p data-bbox="150 817 304 848">Peso: 800 g.</p> <p data-bbox="150 898 421 929">Sistema sustitutivo:</p> <p data-bbox="150 936 1182 1010">Este equipo podrá soportar cualquier sistema embarcado sustituyendo al actual mientras que cumpla las condiciones siguientes:</p> <ul data-bbox="197 1016 1238 1283" style="list-style-type: none"> - Que se mantengan las condiciones de estabilidad del conjunto. El Centro de Gravedad del conjunto ha de estar lo más cercano posible al punto central del equipo. En caso de portar una carga variable se debe contemplar que el CdG siga estando en el mismo sitio o muy cercano al CdG original. - El peso total del equipo ha de mantenerse por debajo de la MOTM admitida por este equipo - No ha de situarse en el flujo de aire de los rotores. <p data-bbox="150 1328 1238 1440">El Gimbal estabilizado en tres ejes, fabricado en plásticos, composites y aluminio, se ancla a la parte inferior del chasis con el sistema de acople rápido diseñado por Aerotools y este va unido al dron mediante 4 silent-blocks.</p>		

SISTEMAS DE SEGURIDAD/SAFETY NETS Y VIGILANCIA		
DETECT AND AVOID	SI	<u>NO</u>
GEOCAGING	<u>SI</u>	NO
Sistema de permisos y denegaciones de vuelo, generado por coordenadas geográficas formando polígonos y circunferencias donde se puede volar internamente. Las alturas máximas y mínimas también se pueden definir antes del vuelo o durante el vuelo.		
TRANSPONDER MODO S	SI	<u>NO</u>
SISTEMAS DE LIMITACIÓN DE ENERGÍA DE IMPACTO	<u>SI</u>	NO
Posibilidad de montar un paracaídas de rápida eyección o de eyección automática comandada por la placa de vuelo.		
SISTEMA DE TERMINACIÓN DE VUELO		
<p>El vuelo puede ser terminado de forma totalmente manual o realizar una vuelta a casa autónoma a través de un interruptor específico de la emisora.</p> <p>En caso de pérdida mantenida de señal de equipo de control el dron automáticamente entra en el modo de vuelo RTL realizando la maniobra como se ha descrito anteriormente.</p> <p>El aterrizaje se realiza de manera vertical sobre cualquier superficie plana en la que se posará el tren de aterrizaje del equipo.</p>		
ALCANCE Y AUTONOMÍA		
<p>Alcance: El alcance máximo que puede tener el equipo de mando es de 1.000 m, pero por normativa se volará dentro de una circunferencia de 500 m de distancia al piloto. Se podrán incorporar otros sistemas de comunicación con mayor alcance.</p>		
<p>Autonomía de referencia: El equipo será capaz de realizar un vuelo en estacionario de 25 min con una batería de 6S 25C de 16.000m Ah de capacidad y un peso total de 6.500 g.</p>		
<p>Altitud máxima de vuelo: El equipo es capaz de elevarse a 4.500 m sobre el nivel del mar. Siempre ha de cumplir la normativa que limita el vuelo a 120 m sobre el terreno.</p>		
<p>Velocidad normal y máxima de operación: Velocidad normal: 2 y 5 m/s.</p>		

Velocidad máxima: 16 m/s.

Velocidad máxima en modo GPS: 15 m/s

Velocidad normal en modo GPS: 5 m/s.

Velocidad normal y máxima de ascenso:

Normal 1,5 m/s.

Máxima 5 m/s.

Normal de ascenso en modo GPS 1,5 m/s.

Máxima de ascenso en modo GPS 4 m/s.

Velocidad normal y máxima de descenso:

Normal 1 m/s.

Máxima 4 m/s.

Normal de descenso en modo GPS 1 m/s.

Máxima de descenso en modo GPS 4 m/s.

LIMITACIONES

- La velocidad máxima que puede alcanzar el equipo en vuelo manual es de 60 Km/h.
- Para operar de una forma segura, el viento recomendable debe ser inferior a 30 km/h aun pudiendo soportar vientos mayores a 40 Km/h.
- La mayor parte del equipo lleva componentes electrónicos, por lo que no se debe operar con precipitaciones, aun teniendo aisladas las electrónicas.
- Las temperaturas de operaciones oscilan entre -10 grados y 40 grados. Con temperaturas inferiores a 10°C se ha de tener especial cuidado con las baterías ya que estas tienen un rendimiento bajo.

PRECISIÓN DE VUELO

La precisión total del equipo con GNSS es de 5m, la precisión relativa durante un vuelo de 15 minutos es de 1-1,5m. Los rangos de precisión pueden llegar a reducirse a distancias inferiores a 0.5m si se activa el sistema RTK que trae incorporado el equipo.

3. Desarrollo del Prototipo Inicial

El proceso de diseño y selección de configuración se basa en el MPP que se desarrolla en la fase de PERFILADO, para el cual se están realizando una serie de iteraciones, pruebas y ensayos de determinadas configuraciones en todos los APARTADOS, que sirven como referencia para la generación del PROTOTIPO INICIAL y para la validación de los resultados futuros del Modelo en el proceso de PERFILADO.

A continuación, se recogen las opciones analizadas en cada uno de los apartados, así como los trabajos realizados siguiendo los flujos definidos en el MPP que permiten llegar al PROTOTIPO INICIAL.

3.1. Apartado PLATAFORMA

Siguiendo con el flujo de trabajo planteado para este apartado, para el módulo correspondiente dentro del MPP, se están realizando estudios del estado del arte y análisis de viabilidad de diferentes tipos de plataformas de vuelo que se muevan en valores aceptables por el proyecto para los parámetros definidos en los Casos de Uso.

En la siguiente tabla se puede observar la disposición de diferentes soluciones en torno a configuraciones MULTIRROTOR (AT) o VTOL, en función de parámetros de referencia para los Casos de Uso:

Parámetro de referencia (Tiempo de vuelo – Distancia LOS)	Peso embarcado (Carga de pago) < 1.5Kg	Peso embarcado (Carga de pago) < 3Kg	Peso embarcado (Carga de pago) < 8Kg
Tiempo de vuelo <25 min	AT6	AT15	AT25
Tiempo de vuelo >25 min	AT6 Tethered	AT15 Tethered	AT25 Tethered
Distancia de vuelo <500m	AT6	AT15	AT25
Distancia de vuelo >500m	VTOL	VTOL MTOM 25Kg	XXXX

En configuración MULTIRROTOR, se han analizado plataformas variadas que ofrecen prestaciones interesantes y diferentes grados de accesibilidad o flexibilidad (para la incorporación de sistemas propios), a la vez que presentan limitaciones específicas en cada caso.

A continuación, se ofrece un resumen de las plataformas analizadas, incluyendo una somera descripción con datos resumidos :

DJI MATRICE 300

Una de las plataformas de vuelo más conocidas del mercado. Cuadricóptero de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 9kg (carga útil 2.7 kg), una autonomía de 55 minutos sin carga de pago, y 30 minutos con carga máxima.



Figura 4. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: M300

EQUIPO:

DJI

MODELO:

MATRICE 300

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (TB60 12S5Ah)

MTOM:

9 kg

CARGA ÚTIL:

2.7 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

55 min

ENLACE:

<https://enterprise.dji.com/es/matrice-300/>

DJI MATRICE 600

Hexacóptero de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 15.1kg (carga útil 6 kg), una autonomía de 40 minutos sin carga de pago, y 18 minutos con carga máxima.



Figura 5. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: M600

EQUIPO:

DJI

MODELO:

MATRICE 600

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (TB48S 6S5Ah)

MTOM:

15.1 kg

CARGA ÚTIL:

6 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

40 min

ENLACE:<https://www.dji.com/es/matrice600>

DJI AGRAS T30

Hexacóptero de uso agrícola, alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 66.5kg y gran capacidad de carga (carga útil 30 kg), una autonomía de 20 minutos sin carga de pago, y 7 minutos con carga máxima.



Figura 6. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: AGRAS T30

EQUIPO:

DJI

MODELO:

AGRAS T30

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (BAX501 12S29Ah)

MTOM:

66.5 kg

CARGA ÚTIL:

30 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

20 min

ENLACE:

<https://www.dji.com/es/t30/specs>

YUNEEC H850-RTK

Hexacóptero de alimentación eléctrica (baterías Li-Ion), con un MTOM de 8.8kg (carga útil 3 kg), y una autonomía de 65 minutos sin carga de pago.



Figura 7. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: H850

EQUIPO:

Yuneec

MODELO:

H850-RTK

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Ion Battery (6S12.8Ah)

MTOM:

8.8 kg

CARGA ÚTIL:

3 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

65 min

ENLACE:

<https://shop.yuneec.com/>

DRAGANFLY Commander 3XL

Cuadrícóptero de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 25kg y gran capacidad de carga (carga útil 10 kg), una autonomía de 50 minutos sin carga de pago, y 18 minutos con carga máxima.



Figura 8. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: COMMANDER 3XL

EQUIPO:

DraganFly

MODELO:

Commander 3XL

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (16Ah)

MTOM:

25 kg

CARGA ÚTIL:

10 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

50 min

ENLACE:

<https://draganfly.com/commander-3-xl/>

DRAGANFLY Commander 3XL Hybrid

Cuadricóptero de alimentación híbrida (gas-electric), con un MTOM de 25kg (carga útil 4 kg), y una autonomía de 180 minutos con carga de pago máxima.



Figura 9. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: COMMANDER 3XL HYBRID

EQUIPO:

DraganFly

MODELO:

Commander 3XL Hybrid

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Hybrid (gas-electric) 70cc

MTOM:

25 kg

CARGA ÚTIL:

4 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

180 min con carga de pago

ENLACE:

<https://draganfly.com/commander-3xl-hybrid/>

FREEFLY SYSTEMS Alta X

Cuadricóptero de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 34.9kg y gran capacidad de carga (carga útil 15.9 kg), una autonomía de 50 minutos sin carga de pago, y 11 minutos con carga máxima.



Figura 10. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: ALTA X

EQUIPO:

Freefly Systems

MODELO:

Alta X

TIPO:

Multirrotor

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (12S16Ah)

MTOM:

34.9 kg

CARGA ÚTIL:

15.9 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

50 min

ENLACE:

<https://freeflysystems.com/>

SKYFRONT PERIMETER 8

Hexacóptero de alimentación híbrida (gas-electric), con un MTOM de 23kg (carga útil 7.5 kg), una autonomía de 300 minutos sin carga de pago, y 60 minutos con carga máxima.



Figura 11. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PERIMETER 8

EQUIPO:

Skyfront

MODELO:

Perimeter 8

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Hybrid (gas-electric)

MTOM:

23 kg

CARGA ÚTIL:

7.5 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

300 min

ENLACE:

<https://skyfront.com/perimeter-8>

SKYFRONT PERIMETER 8+

Hexacóptero de alimentación híbrida (gas-electric), con un MTOM de 26kg y gran capacidad de carga (carga útil 10 kg), una autonomía de 300 minutos sin carga de pago, y 60 minutos con carga máxima.



Figura 12. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PERIMETER 8+

EQUIPO:

Skyfront

MODELO:

Perimeter 8 +

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Hybrid (gas-electric)

MTOM:

26 kg

CARGA ÚTIL:

10 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

300 min

ENLACE:

<https://skyfront.com/perimeter-8>

MMC SKYLLE II M600 PRO

Hexacóptero de alimentación eléctrica (baterías Lithium), con un MTOM de 28kg y gran capacidad de carga (carga útil 10 kg) una autonomía de 80 minutos sin carga de pago, y 36 minutos con carga máxima.

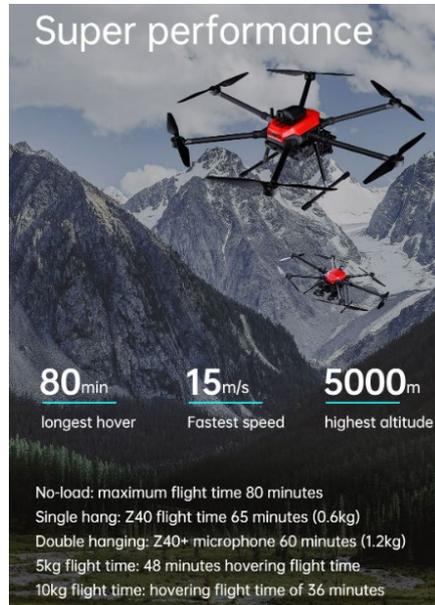


Figura 13. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SKYLLE II

EQUIPO:

MMC

MODELO:

Skylle II M600 PRO

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Lithium Battery (12S22Ah)

MTOM:

28 kg

CARGA ÚTIL:

10 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

80 min

ENLACE:

<https://www.mmcuav.com/products/skylle-%e2%85%b1-m600-pro/>

MMC SKYLLE 1550P

Hexacóptero de alimentación eléctrica (baterías Lithium), con un MTOM de 36.5kg y gran capacidad de carga (carga útil 15 kg), una autonomía de 75 minutos sin carga de pago, y 33 minutos con carga máxima.



Figura 14. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SKYLLE 1550

EQUIPO:

MMC

MODELO:

Skylle 1550P

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Lithium Battery (6S25Ah)

MTOM:

36.5 kg

CARGA ÚTIL:

15 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

75 min

ENLACE:

<https://www.mmcuav.com/products/skylle-p/>

MMC NOTUZI II M30 PRO

Cuadrícóptero de alimentación eléctrica (baterías Lithium), con un MTOM de 12kg (carga útil 3 kg), y una autonomía de 60 minutos sin carga de pago.



Figura 15. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: NOTUZI II M30 PRO

EQUIPO:

MMC

MODELO:

Notuzi II M30 Pro

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Lithium Batteries (12S22Ah)

MTOM:

12 kg

CARGA ÚTIL:

3 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

60 min

ENLACE:

<https://www.mmcuav.com/products/notuzi-%e2%85%b1-m30-pro/>

ACECORETECH NOA H6 HYBRID

Hexacóptero de alimentación híbrida (gas-electric), con un MTOM de 31kg (carga útil 6 kg), una autonomía de 175 minutos sin carga de pago, y 140 minutos con carga máxima.



Figura 16. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: NOA H6 HYBRID

EQUIPO:

AcecoreTech

MODELO:

NOA H6 Hybrid

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Hybrid (gas-electric)

MTOM:

31 kg

CARGA ÚTIL:

6 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

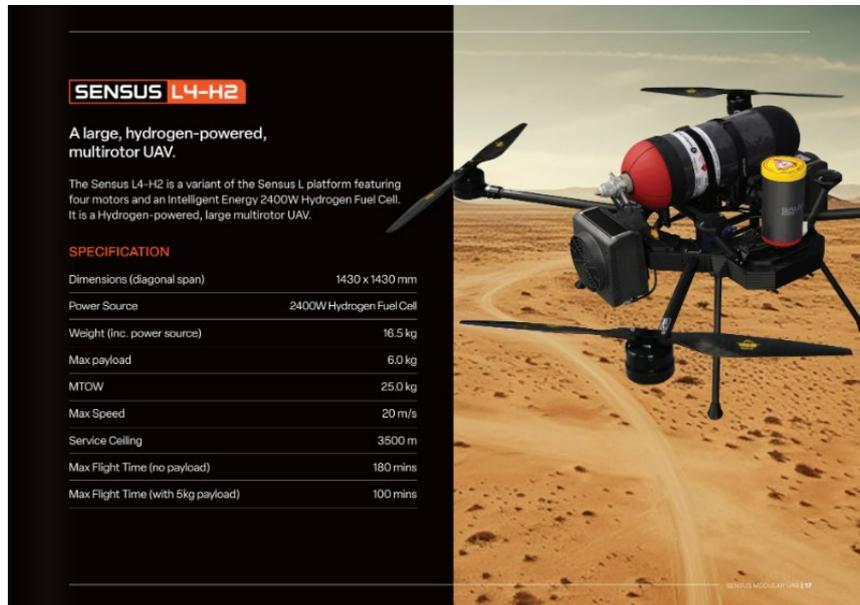
175 min

ENLACE:

www.acecoretechnologies.com

AEROSPACE SENSUS L4-H2

Cuadricóptero de alimentación por batería de hidrógeno, con un MTOM de 25kg (carga útil 6 kg), una autonomía de 180 minutos sin carga de pago, y 100 minutos con carga máxima.



SENSUS L4-H2

A large, hydrogen-powered, multirotor UAV.

The Sensus L4-H2 is a variant of the Sensus L platform featuring four motors and an Intelligent Energy 2400W Hydrogen Fuel Cell. It is a Hydrogen-powered, large multirotor UAV.

SPECIFICATION

Dimensions (diagonal span)	1430 x 1430 mm
Power Source	2400W Hydrogen Fuel Cell
Weight (inc. power source)	16.5 kg
Max payload	6.0 kg
MTOW	25.0 kg
Max Speed	20 m/s
Service Ceiling	3500 m
Max Flight Time (no payload)	180 mins
Max Flight Time (with 5kg payload)	100 mins

Figura 17. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SENSUS L4-H2

EQUIPO:

ISS AEROSPACE

MODELO:

SENSUS L4-H2

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

H2 Hydrogen Fuel Cell (2400W)

MTOM:

25 kg

CARGA ÚTIL:

6 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

180 min

ENLACE:

<https://www.issaerospace.com/sensus-l/>

SENSUS L8-XT

Cuadricóptero de alimentación por gas, con un MTOM de 38kg y gran capacidad de carga (carga útil 20 kg), una autonomía de 70 minutos sin carga de pago, y 30 minutos con carga máxima.

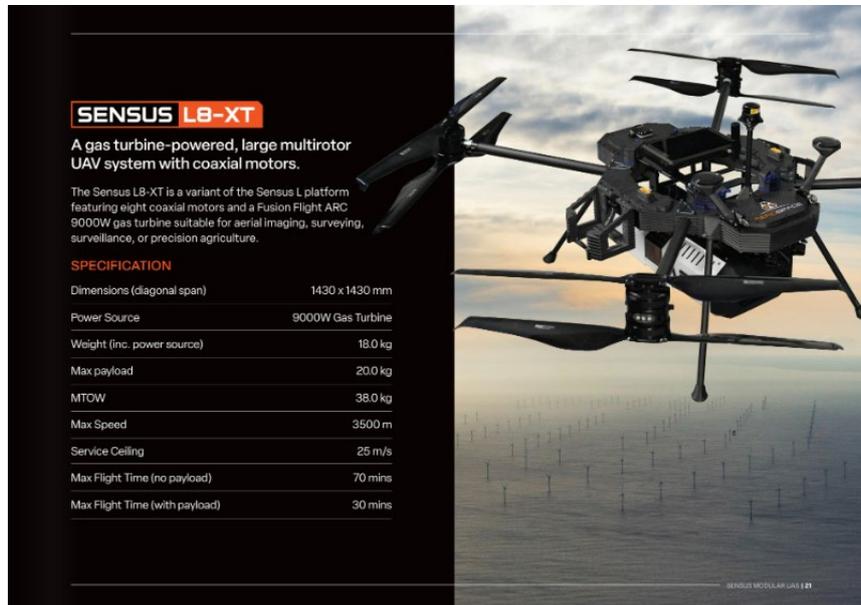


Figura 18. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: SENSOS L8-XT

EQUIPO:

ISS AEROSPACE

MODELO:

SENSUS L8-XT

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Gas turbine (9000W)

MTOM:

38 kg

CARGA ÚTIL:

20 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

70 min

ENLACE:

<https://www.issaerospace.com/sensus-l/>

WATTS INNOVATIONS PRISM LITE

Cuadricóptero de 8 motores coaxiales, de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 25kg (carga útil 7.1 kg), una autonomía de 37 minutos sin carga de pago, y 22 minutos con carga máxima.



Figura 19. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PRISM LITE

EQUIPO:

Watts Innovations

MODELO:

PRISM Lite

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (12S16Ah)

MTOM:

25 kg

CARGA ÚTIL:

7.1 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

37 min

ENLACE:

<https://wattsinnovations.com/>

WATTS INNOVATIONS PRISM SKY

Cuadricóptero de 8 motores coaxiales, de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 25kg (carga útil 6.6 kg), una autonomía de 36 minutos sin carga de pago, y 23 minutos con carga máxima.



Figura 20. Imagen de opción de MULTIRROTOR en estudio: PRISM SKY

EQUIPO:

Watts Innovations

MODELO:

PRISM Sky

TIPO:

Multirroto

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (12S16Ah)

MTOM:

25 kg

CARGA ÚTIL:

6.6 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

36 min

ENLACE:

<https://wattsinnovations.com/>

Para el PROTOTIPO INICIAL se ha optado por una configuración MULTIRROTOR con la siguiente combinación:

- 6B/6M: 6 brazos y 6 motores, también conocido como "hexacopter"

Y con una flexibilidad total para la integración de sistemas.

En el caso de la configuración VTOL, se están analizando diferentes soluciones, haciendo énfasis en la carga de pago que pueden soportar. Con los trabajos realizados hasta el momento, se está orientado la selección hacia plataformas VTOL que disponen de motorización independiente en sentido vertical y en horizontal, ya que resultan ser las que ofrecen mayor capacidad de MTOW.

FOXTECH BABY SHARK

VTOL de 5 motores (motorización independiente en sentido vertical y en horizontal), de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 12kg (carga útil 2.1 kg), 2.5m envergadura, y una autonomía de 150 minutos sin carga de pago.



Figura 21. Imagen de opción de VTOL en estudio: BABY SHARK

EQUIPO:

FOXTECH

MODELO:

BABY SHARK

TIPO:

VTOL (2.5m envergadura)

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (6S12.5Ah)

MTOM:

12 kg

CARGA ÚTIL:

2.1 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

150 min

ENLACE:

<https://www.foxtechfpv.com/foxtech-baby-shark-vtol.html>

FOXTECH GREAT SHARK

VTOL de 5 motores (motorización independiente en sentido vertical y en horizontal), de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 23kg (carga útil 4 kg), 3.2m envergadura, y una autonomía de 180 minutos sin carga de pago.



Figura 22. Imagen de opción de VTOL en estudio: GREAT SHARK

EQUIPO:

FOXTECH

MODELO:

GREAT SHARK

TIPO:

VTOL (3.2m envergadura)

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (6S22Ah)

MTOM:

23 kg

CARGA ÚTIL:

4 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

180 min

ENLACE:

<https://www.foxtechfpv.com/foxtech-great-shark-330-vtol.html>

FOXTECH AYK-350 Heavy LOAD

VTOL de 5 motores (motorización independiente en sentido vertical y en horizontal), de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 35kg (carga útil 4 kg), 3.5m envergadura, y una autonomía de 150 minutos con carga de pago máxima.

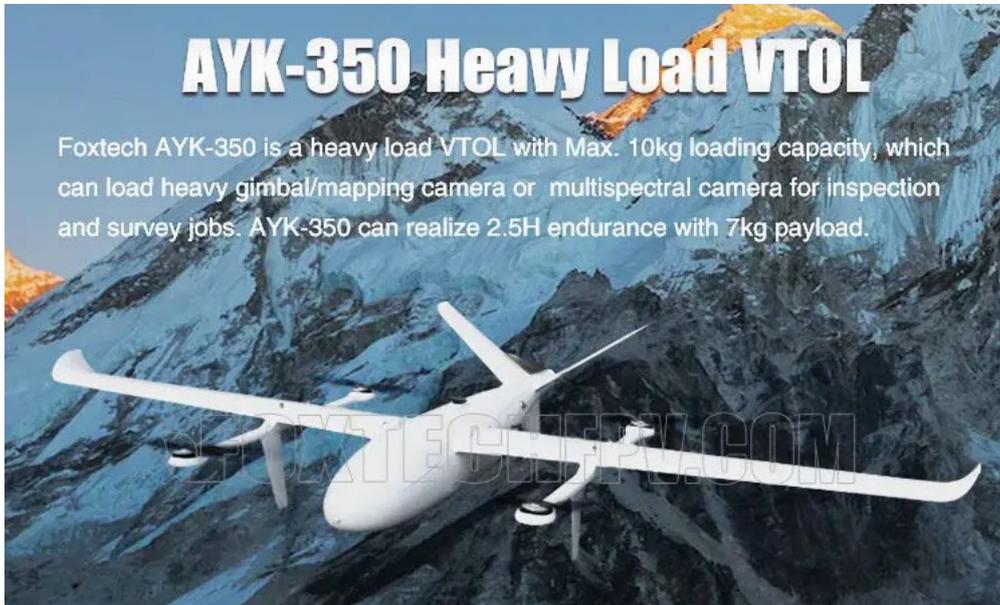


Figura 23. Imagen de opción de VTOL en estudio: AUK 350 HEAVY LOAD

EQUIPO:

FOXTECH

MODELO:

AYK-350 Heavy LOAD

TIPO:

VTOL (3.5m envergadura)

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (6S25Ah)

MTOM:

35 kg

CARGA ÚTIL:

10 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

150 min con carga de pago

ENLACE:

<https://www.foxtechfpv.com/ayk-350-heavy-load-vtol.html>

DELTA QUAD Pro CARGO

VTOL de 5 motores (motorización independiente en sentido vertical y en horizontal), de alimentación eléctrica (baterías Li-Po), con un MTOM de 6.2kg (carga útil 1.2 kg), 2.35m envergadura, y una autonomía de 110 minutos con carga de pago máxima.

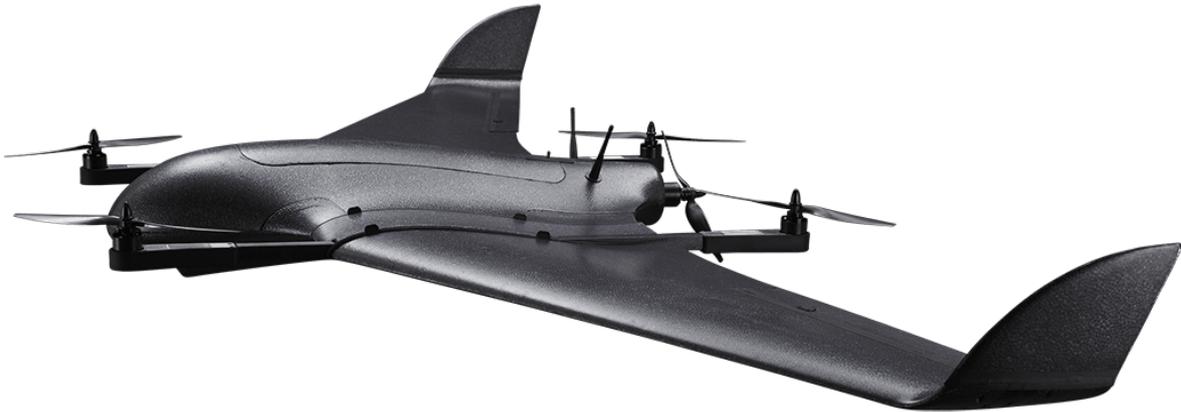


Figura 24. Imagen de opción de VTOL en estudio: DELTA QUAD PRO CARGO

EQUIPO:

DELTA QUAD

MODELO:

Delta Quad Pro CARGO

TIPO:

VTOL (2.35m envergadura)

ALIMENTACION:

Li-Po Battery (4S23Ah)

MTOM:

6.2 kg

CARGA ÚTIL:

1.2 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

110 min con carga de pago

ENLACE:

<https://www.deltaquad.com/vtol-drones/cargo/>

QUANTUM SYSTEMS TRINITY F90+

VTOL de 3 motores (misma motorización para el sentido vertical y horizontal), de alimentación eléctrica (baterías Li-Ion), con un MTOM de 5kg (carga útil 1 kg), 2.4m envergadura, y una autonomía de 90 minutos con carga de pago máxima.



Figura 25. Imagen de opción de VTOL en estudio: TRINITY F90

EQUIPO:

QUANTUM SYSTEMS

MODELO:

Trinity F90+

TIPO:

VTOL (2.4m envergadura)

ALIMENTACION:

Li-Ion Battery (6S4P12Ah)

MTOM:

5 kg

CARGA ÚTIL:

1 kg

TIEMPO MÁXIMO DE VUELO:

90 min con carga de pago

ENLACE:

<https://quantum-systems.com/trinity-f90/>

3.2. Apartado PROPULSIÓN

Las pruebas realizadas han permitido la selección de una configuración de Motor + Hélice que aporta las prestaciones adecuadas a este PROTOTIPO INICIAL y que sirven de referencia para las pruebas que se irán realizando

- Motores marca T-Motor modelo MN4014-9 400KV de 900 W.
- Hélices 17 x 5,8".

Las pruebas para seleccionar el conjunto propulsor se basan en un sistema iterativo que comienza por una primera fase de identificación de los equipos más adecuados, basada en la experiencia y conocimiento de AEROTOOLS. Estos equipos que componen el grupo propulsor son básicamente el motor, el variador (en relación estrecha con el motor seleccionado) y la hélice.

Sobre la primera selección de motores, variadores y hélices se realizan las pruebas de comportamiento en diferentes configuraciones, entrando en el proceso iterativo comentado, y que se puede tomar como ejemplo de la metodología que se seguirá a lo largo del proyecto:

- Pruebas de comportamiento del conjunto con baterías 4S o 6s.
- Pruebas para cálculo de prestaciones (empuje, potencia, consumo, eficiencia...) en las condiciones requeridas para el MTOW de la aeronave.
- Pruebas de selección final del conjunto motor + hélice.
- Series de caracterización del conjunto en las condiciones de trabajo.

La explicación detallada del proceso y de las opciones valoradas se detalla a continuación para el motor y la hélice:

- Se define el voltaje con el que se va a trabajar dentro del dron, posteriormente podría variar dependiendo de los resultados iniciales.
- Se define cual es el empuje que se debe alcanzar por motor para levantar un MTOW determinado:
 - Para ello, se define el modelo de dron (número de motores y configuración de los mismos, un modelo con motores coaxiales 8 o 12 tiene una eficiencia entre un 18 y un 25 % más baja que un dron con motores en el plano).
 - El empuje, se buscará con el motor al 40-50% de mando de potencia (no de empuje máximo).
 - Se buscan conjuntos de motores con hélices, que estén disponibles en el mercado, que proporcionen el empuje solicitado. (Actualmente no hay demasiadas marcas que den la calidad requerida).
 - Una vez encontrados los diferentes motores con sus voltajes y las hélices seleccionadas. (en un triángulo de cálculo):
 - Cualquier variación en uno de los datos ocasiona modificar al menos uno de los otros dos; Más voltaje ocasiona más velocidad de giro del motor,

consecuentemente la hélice se debe de cambiar por una con menos diámetro o menos paso.

- Se procede a buscar la eficiencia que proporcionan los conjuntos de motor-voltaje-hélice, y se selecciona el que tenga máxima eficiencia.
- Otro dato que se tiene en cuenta es el peso propio de cada motor ya que en ocasiones pasar de un modelo al inmediatamente superior genera que el peso del motor se duplique y aunque se gane en eficiencia, se tendrá más peso por levantar y, en consecuencia, quedará menos carga de pago disponible.
- Tras la elección de uno o varios motores y varias hélices se realizan las pruebas reales de banco de motor. Los resultados de estas pruebas se asemejarán bastante a la realidad del dron volando.

Motores analizados

- **Motores DJI.** Estos motores tienen unas características de funcionamiento bastante buenas, pero la marca DJI hace cambios en los equipos sin avisar y deja de tener en producción componentes sin previo aviso.
- **Motores FreeFly.** Ya no están disponibles para la venta a privada, solo están disponibles para las reparaciones de sus propios drones.
- **Motores KDE.** Estos motores de reconocido prestigio, debido a su durabilidad y calidad de todos sus elementos. El precio es muy elevado en comparación con otras marcas de motores
- **Motores T-Motor.** Motores con una relación calidad/precio bastante buena, con una calidad constante en sus productos.
- **Motores RCTimer.** Motores con alta eficiencia, pero con una calidad poco consistente. Se decide no utilizar estos motores.

Hélices probadas

- T-Motor CF con núcleo de espuma rígida

A Light Pack

The new forming craft developed by T-MOTOR R&D team is adopted to the 3rd generation propellers for 30%+ reduction in weight, lower moment of inertia, less motor vibration and, ultimately, longer flight time.



New Prop Cover Plate
10% lighter



Figura 26. Imagen de tipo de hélice en estudio: T-MOTOR CF con núcleo de espuma rígida

- T-Motor polímero con fibra de carbono plegable, menos rendimiento más pesadas, mucho mas baratas.



Figura 27. Imagen de tipo de hélice en estudio: T-MOTOR polímero

- Foxtech Supreme CF con núcleo de espuma rígida.



Figura 28. Imagen de tipo de hélice en estudio: FOXTECH SUPREME

- Foxtech Optimal CF maciza plegable.



Figura 29. Imagen de tipo de hélice en estudio: FOXTECH OPTIMAL

- RCTimer macizas. Alta discrepancia entre unas hélices y otras, se entregan sin equilibrar.



Figura 30. Imagen de tipo de hélice en estudio: RCTIMER

Se probarán las siguientes hélices para los Prototipos de mayor tamaño:

Hélices.	
Rígidas	
20x6.2	https://store.tmotor.com/product/ns20x6_2-prop-uav-carbon-fiber.html
21x6.3	No disponible
22x6.6	https://store.tmotor.com/product/ns22x6_6-prop-uav-carbon-fiber.html
24x7.2	https://store.tmotor.com/product/ns24x7_2-10mm-hole-prop-uav-carbon-fiber.html
26x8.5	https://store.tmotor.com/product/ns26x8_5-prop-uav-carbon-fiber.html
Plegables	
20x09	https://store.tmotor.com/product/mf2009-polymer-folding-prop.html
22x11	https://store.tmotor.com/product/mf2211-polymer-folding-prop.html
24x12	https://store.tmotor.com/product/mf2412-polymer-folding-prop.html
26x14	https://store.tmotor.com/product/mf2211-polymer-folding-prop.html

3.3. Apartado ALIMENTACIÓN

Para una correcta evaluación de los sistemas de alimentación de energía más adecuado para los PROTOTIPOS del proyecto, se están analizando diferentes tecnologías susceptibles de ser embarcadas en drones.

- **Baterías**

- **LiPo**

- Compuesto químico que tiene una densidad energética muy buena y una gran capacidad de potencia puntual. El valor de descarga puntual de estas baterías es un factor, el factor C, que a mayor C obtendremos una mayor descarga puntual. Una batería de Lipo aceptable para un multirrotor, deberá tener al menos 25C, y en el caso de una batería de 16Ah de acumulación nos daría una potencia puntual de $16 \times 25 = 400A$.
 - Son muy buenas para UAS del tipo de multirrotor o un VTOL donde la demanda de energía es constantemente alta.
 - Voltajes valorados 6S-12S. Los montajes con baterías de 12S se conseguirían con baterías de 6S montadas en serie, en estos casos se usarían siempre grupos pares de baterías.
 - La densidad energética de estas baterías tiene unos valores entre 150 y 200 Wh/Kg

- **Li-ion**

- Compuesto químico que tiene una densidad energética mejor que el LiPo pero tiene una capacidad de potencia puntual menor. El valor de descarga puntual de estas baterías es un factor, el factor C, que a mayor C obtendremos una mayor descarga puntual. Una batería de Liion aceptable para un multirrotor, deberá tener al menos 10C, y en el caso de una batería de 16Ah de acumulación nos daría una potencia puntual de $16 \times 10 = 160A$.
 - Son muy buenas para UAS del tipo de ala fija, donde la demanda puntual de energía es mucho menor que en un multirrotor o un VTOL
 - Actualmente hay dos tipos de celdas que se usan mayoritariamente en usas que son las de formato 18650 y 21700, en estas celdas la numeración indica el tamaño de la misma, las dos primeras cifras son el diámetro en mm y las dos siguientes la longitud en mm.
 - La densidad energética que tienen estas baterías, está en torno a 200-250 Wh/Kg
 - Voltajes valorados 6S-12S, Los montajes con baterías de 12S se conseguirían con baterías de 6S montadas en serie, en estos casos se usarían siempre grupos pares de baterías.

- **LiFePo4**

- Compuesto químico que tiene una densidad energética menor que el LiPo y una capacidad de potencia puntual también menor. Estas baterías tienen una vida muchísimo más duradera y por ello se usan en drones terrestres.
 - La densidad energética que tienen estas baterías está en torno a 200-250 Wh/Kg

- **Generador con motor de combustión.**

- Este suministro de energía se basa en un motor de combustión interna con un generador asociado de bajo peso y tamaño (básicamente son motores brushless modificados para que generen corriente continua), además van acompañados de baterías que hacen de regulación de consumo y de backup de seguridad para poder aterrizar el dron en caso de fallo en el funcionamiento del generador.
- El principal inconveniente que tienen estos dispositivos es el ruido y las vibraciones de estos motores.
- La principal ventaja es que la densidad energética de los combustibles fósiles líquidos es muy alta y puede funcionar hasta 4 horas seguidas con un depósito de gasolina.
- Existen actualmente varias empresas que suministran drones con este sistema de alimentación y otras que venden el sistema para embarcar en un dron estándar.
- Hay distribución de los componentes sueltos y se podría fabricar uno, pero el desarrollo sería otro proyecto en sí mismo.

- **Pila de hidrógeno**

- Este suministro de energía se basa en una pila de combustible de combustión interna con un generador asociado de bajo peso y tamaño (básicamente son motores brushless modificados para que generen corriente continua), además van acompañados de baterías que hacen de regulación de consumo y de backup de seguridad para poder aterrizar el dron en caso de fallo en el funcionamiento de la pila.
- Este sistema de alimentación se basa en 4 +1 dispositivos unidos entre sí
 - La pila de combustible (hidrógeno)
 - Depósito de alta presión para contener el hidrógeno en estado líquido.
 - Regulador de presión del gas.
 - Conversor de Voltaje desde la pila al consumo
 - Baterías de backup
- Existen actualmente varias empresas que suministran drones con este sistema de alimentación y otras que venden el sistema para embarcar en un dron estándar
- Hay distribución de los componentes sueltos y se podría fabricar uno, pero el desarrollo sería otro proyecto en sí mismo.

- **Tethered o dron cautivo.**

- Esta opción se valora para misiones donde el requisito principal es tener un objeto a una altura razonable sobre el terreno y poderlo controlar de una forma segura (un zepelín o globo cautivo se ve afectado mucho por el viento incluso si es ligero)
- Este sistema de alimentación se basa en 4 +1 dispositivos unidos entre sí
 - La base principal que es la que tiene el transformador de alterna a continua de alto voltaje, y el cable enrollado
 - El cable de suministro eléctrico, que porta de 400 a 600V y ha de ser lo más ligero posible ya que de esta ligereza depende que el equipo pueda levantarse hasta una altura razonable, el peso por metro de este tipo de cable esté entre 16 y 28 g /m que para una altura de m hace que el peso del cable sea de 1.600 a 2.800 g
 - El conversor embarcado. Hace el cambio de 400-600V al voltaje que usa el dron, habitualmente suelen ser 50V.

- El generador de tierra que ha de ser al menos un 20% más potente que la potencia de suministro de la base principal. Normalmente suelen ser de 4.000W. Este generador no es necesario cuando en el punto de despegue tenemos una toma de corriente de 220V de corriente alterna.
- Además van acompañados de baterías que hacen de regulación de consumo y de backup de seguridad para poder aterrizar el dron en caso de fallo en el funcionamiento del cable.
- Existen actualmente varias empresas que suministran drones con este sistema de alimentación
- Hay distribución de los componentes sueltos y se podría fabricar uno, pero el desarrollo sería otro proyecto en si mismo.

Ejemplos de la base de datos que se está generando en cada una de las tecnologías descritas son accesibles en el documento incluido con el Entregable A1-2 E1 y que está en continua actualización:

6G_SORUS_DRONES_A1-2_E1_Perfilado_Resultados_ITER1_ALIMENTACION. XLSX

3.4. Apartado ELECTRÓNICA

La electrónica de vuelo a embarcar en los prototipos es un elemento fundamental para alcanzar los objetivos del proyecto, ya que debe ofrecer la máxima fiabilidad en todas las condiciones de vuelo a la vez que debe facilitar la conexión de dispositivos periféricos, como por ejemplo los relativos a computación embarcada o comunicaciones que aporten funcionalidades avanzadas. Es por ello que debe contarse con una electrónica de arquitectura abierta, interface de conexión asequible y adaptable y, por supuesto, calidad y seguridad probadas.

En este análisis, los factores que se están teniendo en cuenta para su caracterización de las placas electrónicas de vuelo, son los siguientes:

- Fiabilidad de funcionamiento.
- Facilidad de programación de vuelos.
- Facilidad de programación externa para funcionalidades avanzadas.
- Facilidad de integración.
- Variedad de sensores posibles.
- Precio.

Las controladoras de vuelo que se están analizando en el proyecto se recogen en la siguiente tabla:

Modelo Placa	GPS	Radio Link	Sensores V, W, Dist,	Software control
Pixhawk Orange	Here 3	X	X	Mission Planner
Micropilot	X	X	X	Propietario Pago
CUAV X7	X	X	X	Mission Planner Q ground
AHEADX LEO 2	X	X	X	AXPlanner
UAV NAV	X	X	X	Helistart

Para el PROTOTIPO INICIAL se está trabajando con la PIXHAWK ORANGE, opción que se conoce bien y ofrece prestaciones adecuadas en la integración de nuevos sistemas. Para el PROTOTIPO FINAL se están probando algunas de las incluidas en la tabla anterior.

3.5. Apartado COMUNICACIONES

Como ya se ha expuesto en anteriores Entregables, la orquestación de las Comunicaciones con el apartado de Electrónica de vuelo es una parte fundamental del proceso de integración y se trata de un área compleja en el que interviene múltiples dispositivos y actores.

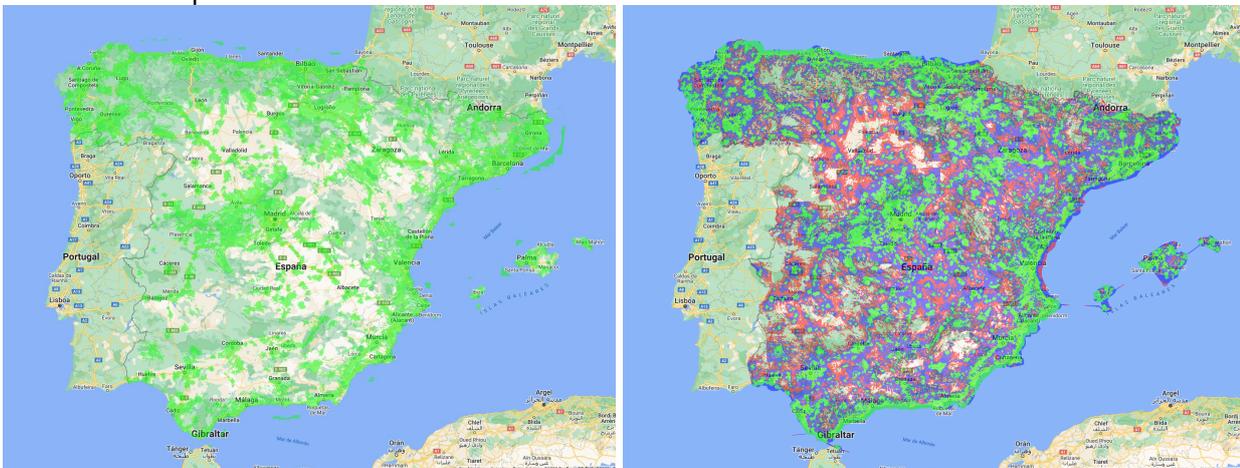
En el momento actual del proyecto, se están realizando análisis de dispositivos para pruebas con tecnologías de comunicación desplegadas y accesibles en estos momentos, como el 4G o el 5G (de forma limitada), como forma de preparar la integración definitiva de los sistemas de comunicación en el prototipo final.

Control por 5G

Conectividad a través de red de telefonía móvil

En lo que se refiere a la conectividad a través de redes de telefonía móvil, la creciente demanda de operaciones con UAS a larga distancia exige la adopción de la tecnología de redes móviles para poder tener control de los equipos independientemente de la distancia a la que se encuentren.

Desde un punto de vista de accesibilidad práctica y potencial de uso, la red 4G LTE es la más extendida, mientras que el despliegue de redes 5G avanza a menor velocidad de la prevista, lo que introduce limitaciones que se deben tener en cuenta. En la figura siguiente se muestran ejemplos de despliegue de estos dos tipos de redes en el ámbito nacional.



Cobertura 5G

Cobertura 4G

Figura 31. Mapas de cobertura nacional en 4G y 5G

Desde el punto de vista técnico, el principal problema con el que se encuentran los integradores de servicios para nuevos casos de uso es la asignación de las IP de los dispositivos conectados a las redes móviles. En el formato actual que plantean las operadoras, esta dirección IP puede cambiar cuando se salta de un punto de conexión a otro, lo que seguro ocurrirá en operaciones con drones a larga distancia. Este salto provoca la interrupción de la comunicación y supone una barrera considerable que se debe tener en cuenta al diseñar la configuración de las comunicaciones.

En cuanto a Hardware, existen equipos comerciales para poder controlar un dron a través de telefonía móvil 4G LTE 5G, como los que se muestran a continuación que se están analizando:

VL5G 5G Infinite Data&Video Transmission System Fluent Anti-interference.

Dispositivo que admite la transmisión de datos y video en tiempo real 5G/4G sin limitaciones de distancia, baja latencia. Recomendado para aplicaciones urbanas de drones y despegue y aterrizaje de en operaciones BVLOS.



Figura 32. Imagen de dispositivo en estudio: VL5G

<https://www.viewprouav.com/product/vl5g-5g-infinite-datavideo-transmission-system-fluent-anti-interference.html>

CUAV LTE Link, Air Link

Dispositivo que evoluciona- el modo de comunicación tradicional de punto a punto de los drones, transmitiendo video y datos de drones a estaciones terrestres a través de redes 4G / 5G



Figura 33. Imagen de dispositivo en estudio: CUAV LTE LINK

<https://doc.cuav.net/link/lte-link/en/quick-start-lte-link.html>

XB Station

Dispositivo que admite la transmisión de datos y video en tiempo real a través de redes 4G LTE.



Figura 34. Imagen de dispositivo en estudio: XB STATION

<https://xbstation.com/store/xblink>

En lo que se refiere a Software, es necesario trabajar este apartado de forma específica por su complejidad, y son varias las soluciones o escenarios en que se está trabajando, en función del hardware que se seleccione y de ellos dispositivos que deban gestionarse. A continuación, se incluye un resumen de las soluciones en desarrollo:

Software UAVCast de la empresa UAV Matrix.

- Este software proporciona la forma de conectar un ordenador conectado a Internet con un dron a través de un puerto serie del dron y una Raspberry Pi.
- Una parte importante para asegurar el correcto funcionamiento del sistema es la generación de una VPN que garantice las direcciones de Internet de los diferentes dispositivos conectados. Estos dispositivos son el PC con el programa Mission Planner y la Raspberry Pi conectada al dron por un conversor a serie USB. En este caso el software está diseñado para conectarse a través de una VPN de servicio gratuito en la red, Zero Tier es la gestora de esta VPN y de esta forma no hay que montar un servidor para una VPN propia.
- Conectividad:
 - Comunicación C2 (Command & Control) junto con la telemetría a través del puerto serie.
 - Señal de Video, ya sea para el control a través de FPV o para mandar la señal de una cámara de monitorización.

Desarrollo de software de comunicación a través del programa Mission Planner vía Internet con dongles o routers 4G-5G.

- Desarrollo propio de series de Scripts que ejecutados en una placa de procesamiento Raspberry Pi permitirán realizar las comunicaciones bidireccionales entre otra Raspberry Pi conectado a Internet y un dron.
- Una parte importante para asegurar el correcto funcionamiento del sistema es la generación de una VPN que garantice las direcciones de Internet de los diferentes dispositivos conectados. Estos dispositivos son el PC con el programa Mission Planner y la Raspberry Pi conectada al dron por un conversor a serie USB. Para montar la VPN se ha montado un servidor de uso exclusivo.
- Conectividad:
 - Comunicación de command and control junto con la telemetría a través del puerto serie
 - Señal de Video 1, para el control a través de FPV.
 - Señal de Video 2, para mandar la señal de una cámara de monitorización.

Desarrollo de software y hardware para la conectividad directa entre mando de radio control y dron con dongles o routers 4G-5G

- Actualmente Aerotools está desarrollando SORUS BOX. Una parte de este de este desarrollo está dedicado a realizar una caja de comunicaciones que podamos conectar a diferentes modelos de dron y de mandos de radio control.
- Conectividad
 - Comunicación de command and control a través de señal SBUS. Siendo esta es la principal diferencia con las anteriores, ya que con este tipo de comunicación se consigue adaptar la SORUS BOX a muchos tipos de emisoras.
 - Telemetría independiente.
 - Señal de Video 1, para el control a través de FPV.

- Señal de Video 2, para mandar la señal de una cámara de monitorización.
- Este dispositivo será capaz de leer los datos SBUS que salgan de una emisora de radio control convencional, codificar en datos que una vez transportados por Internet, se vuelvan a decodificar por otra procesadora y los inyecte como SBUS al dron
- También permitirá conectarse a los datos de telemetría de forma bidireccional, por un puerto serie.
- Se podrá acoplar una pantalla al puerto HDMI para visualizar las imágenes de los vídeos que se generen en el dron.
- Ha de generar un comando de fail safe en caso de que pierda conectividad
- Podría mandar el dato de cobertura para actuar sobre el dron en consecuencia.

El dispositivo SORUS BOX se encuentra en desarrollo y su alcance se detalla en el apartado siguiente dedicado a la CARGA DE PAGO, por considerarse un sistema adicional embarcado que dependerá de la función o Caso de Uso en concreto. En breve, podrá comenzar las pruebas en PROTOTIPO INICIAL

3.6. Apartado CARGA DE PAGO

En este apartado se trabaja con las diferentes cargas de pago que se contemplan para los diferentes Casos de Uso, partiendo de sus necesidades específicas y adecuándose a las prestaciones que se han diseñado en los Prototipos para integrar los dispositivos asociados. Se trata de un proceso iterativo en el que es necesario definir los requisitos y funciones que debe cumplir el conjunto, el cual debe iniciarse cuando se disponga del PROTOTIPO que hará de soporte. A partir de disponer del PROTOTIPO INICIAL se acelerará este proceso iterativo y de desarrollo.

Como ya se ha apuntado en el apartado anterior de Comunicaciones, un elemento fundamental del proyecto será el componente denominado SORUS BOX, un dispositivo de computación embarcado en el dron para generar un modo avanzado de comunicaciones y gestión de datos en tiempo real.

Funcionalidades:

- Comunicación 4G-5G y futuras generaciones de conectividad de redes móviles.
 - a. Permitirá el modo de vuelo BVLOS a largas distancias basándose en la red de telefonía móvil.
 - b. Permitirá la conexión continua del dron a la red de Internet.
- Asistencia al vuelo a través del uso de Inteligencia Artificial.
 - a. Generación de plan de vuelo en función de nuevos parámetros adquiridos por la AI.
 - b. Generación de zonas de "NO VUELO" dependiendo de los datos adquiridos por la AI.
 - c. Modificación del recorrido de vuelo dependiendo de los datos adquiridos por la AI.
- Capacidad de computación durante el vuelo.
 - a. Lectura de sensores embarcados (carga de pago)
 - b. Grabación de datos de vuelo asociados con los sensores
 - c. Recepción de datos de otros sensores externos
- Capacidad de comunicación con el EDGE para realizar tareas de computación avanzadas.
 - a. Comunicación con el EDGE para enviar datos adquiridos durante el vuelo y proceder a su tratamiento avanzado.
 - b. Recepción de datos procesados para poder seguir ejecutando parte de la misión.

Composición

- Placa de computación: Raspberry Pi 4 o superior.
- Comunicaciones: Modem 4G-5G con puerto LAN para conectar la Raspberry Pi con Internet. FTDI para convertir señal serie en UART

Conectividad de SORUS BOX:

Ha de tener la posibilidad de conectarse por los siguientes medios:

- Wifi
- Red de telefonía
- Puertos Serie
- Ethernet

Otras cargas de pago

Además de la carga de pago continua (SORUS BOX) el equipo podrá llevar diferentes cargas para los diferentes casos de uso.

- Equipos de emisión
- Antenas
- Repetidores de señal
- Comprobadores de señal

4. Informes de pruebas del Prototipo Inicial

Durante el desarrollo del PROTOTIPO INICIAL, se han llevado a cabo pruebas prácticas de equipos y sistemas, tanto en oficina técnica como en campo. A continuación, se relacionan algunas de las más relevantes.

Meses de septiembre a diciembre de 2023

En Oficina Técnica: pruebas de montaje y funcionamiento de PLATAFORMA, PROPULSIÓN y ALIMENTACIÓN, e integración de sistemas de ELECTRÓNICA en el PROTOTIPO INICIAL.

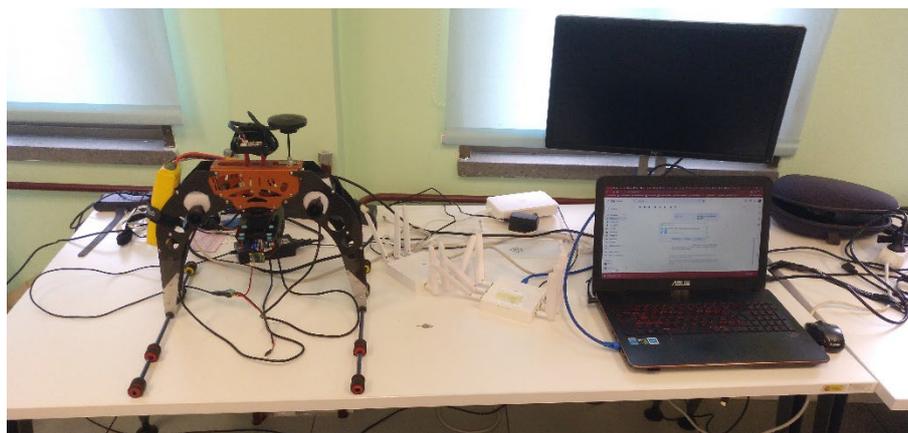


Figura 35. Imágenes de pruebas en Oficina Técnica sobre PROTOTIPO INICIAL



Figura 36. Imagen de pruebas en Oficina Técnica sobre PROTOTIPO INICIAL

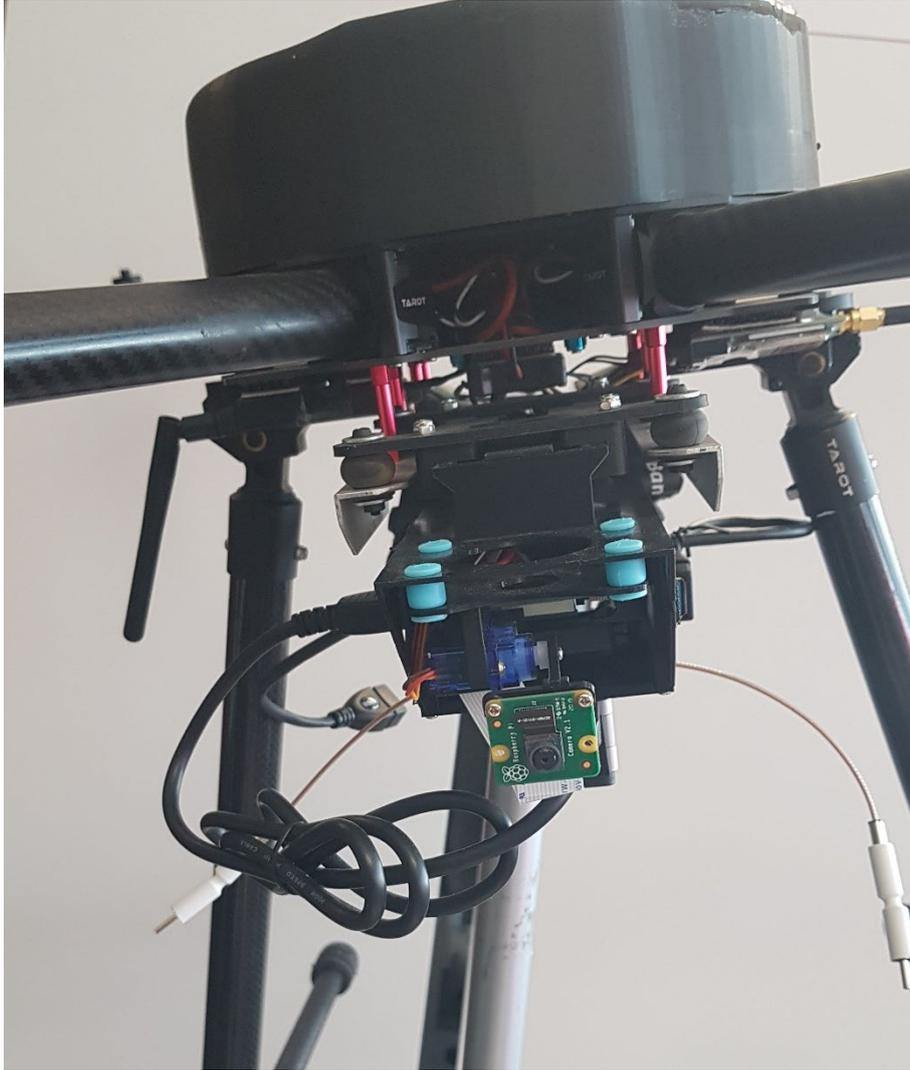


Figura 37. Imagen de pruebas en Oficina Técnica sobre PROTOTIPO INICIAL

Meses de noviembre a diciembre 2023

Pruebas en campo de vuelo cercano a Valdetorres (Madrid), con prototipos inicial para pruebas de motores, sistemas, alcance de señal, programación de órdenes y vuelos.

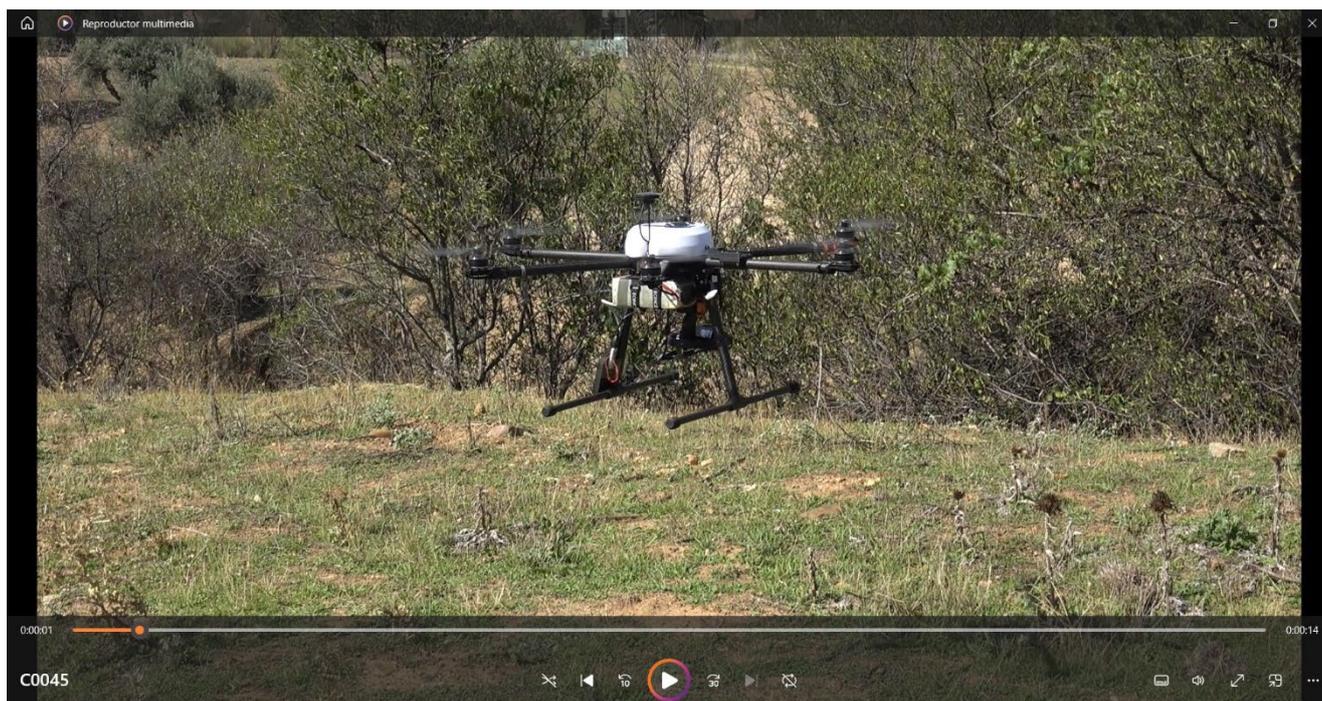


Figura 38. Imágenes de pruebas en Campo de Vuelo con PROTOTIPO INICIAL

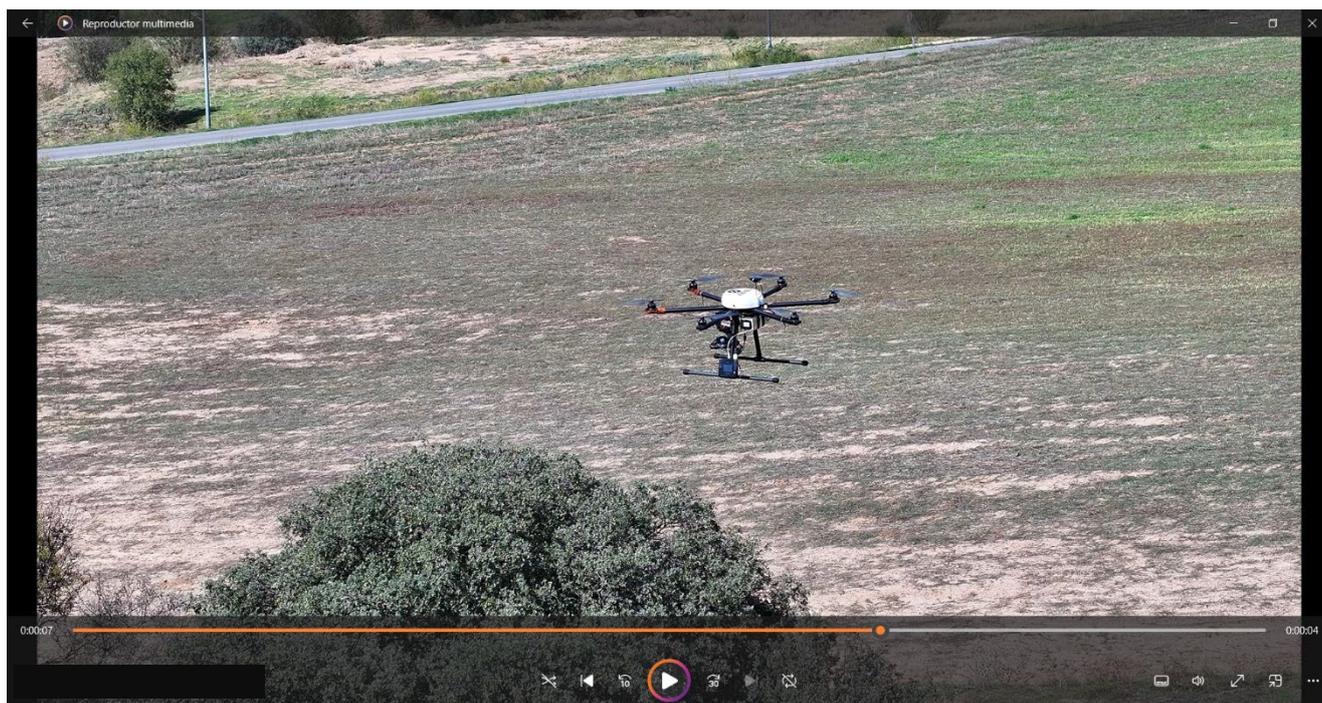
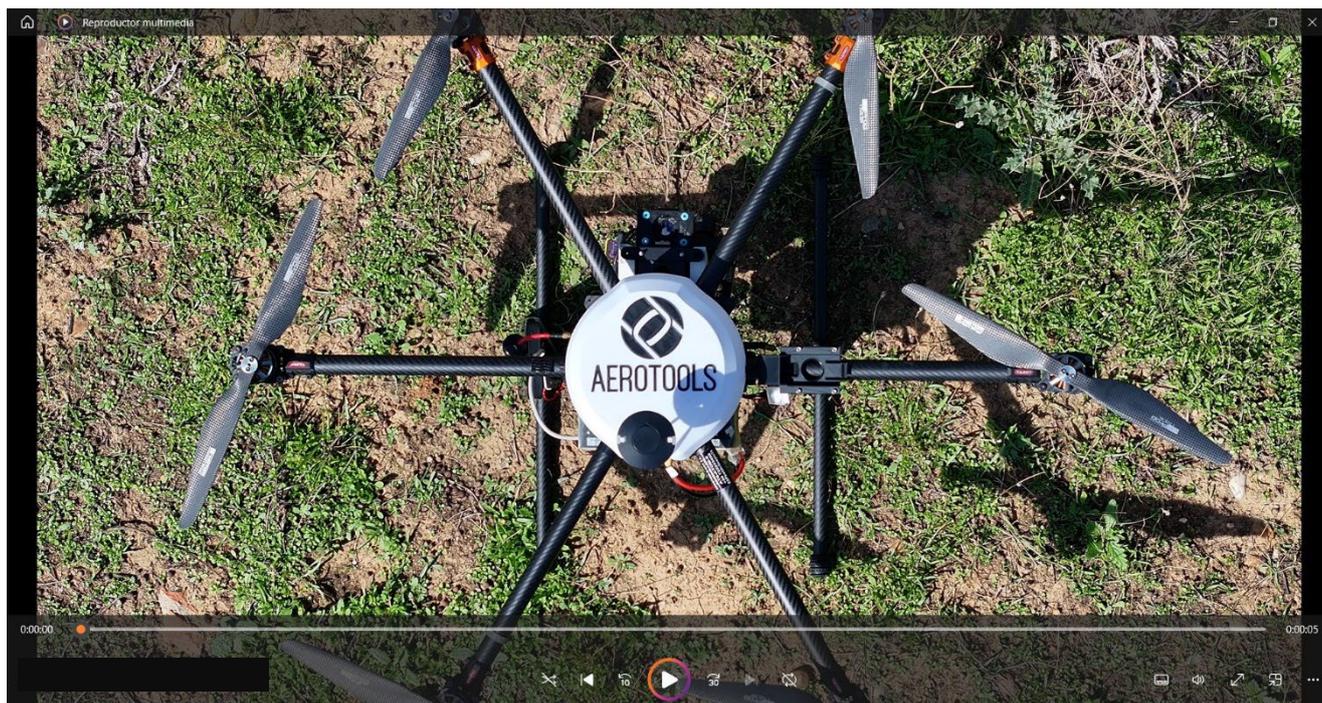


Figura 39. Imágenes de pruebas en Campo de Vuelo con PROTOTIPO INICIAL

5. Proyección a Prototipo Final

Una vez se tiene disponible el PROTOTIPO INICIAL, se centrarán los esfuerzos en la configuración de sistemas para los diferentes escenarios y Casos de Uso, compaginando estos desarrollos con pruebas de sistemas integrados y operaciones de vuelo. El objetivo es alcanzar una evolución consistente en el proceso que conduce a la definición del PROTOTIPO FINAL con sus correspondientes sistemas integrados y a la realización de pruebas de vuelo que permitan el establecimiento de procedimientos y caracterización de los equipos para cada Casos de Uso.

En los primeros meses de 2024 se trabajará de forma más intensa en las CARGAS DE PAGO, a la vez que se termina de recibir los equipos y sistemas que se están adquiriendo para los análisis y pruebas de selección (como es el caso de la electrónica de vuelo o los sistemas de comunicaciones, o el sistema de alimentación por cable "tethered").

En paralelo, se realizarán pruebas apoyándose en el PROTOTIPO INICIAL, mientras se continúa el proceso de análisis de las diferentes opciones identificadas como adecuadas para la configuración del PROTOTIPO FINAL, con el objetivo de disponer de dicho prototipo en el última trimestre (Q4) de 2024 y realizar las pruebas oportunas en el plazo establecido para el proyecto.

Referencias

1	5G HEART. 2023. <i>5G Health, Aquaculture and Transport Validation Trials.</i> 2023.
2	5G PPP. 2023. <i>UPDATE ON 5G TRIALS AND PILOTS FOR CONNECTED.</i> 2023.
3	Adnan Shahid Khan, Muhammad Ali Sattar ,Kashif Nisar,Ag Asri Ag Ibrahim,Noralifah Binti Annuar ,Johari bin Abdullah and Shuaib Karim Memon. A Survey on 6G Enabled Light Weight Authentication Protocol for UAVs, Security, Open Research Issues and Future Directions.
4	Aerotoools UAV. 2022. <i>Estado del Arte de los Elementos de Vuelo.</i> 2022. pág. 407.
5	Bin Li, Zesong Fei, Yan Zhang. 2019. <i>UAV Communications for 5G and Beyond.</i> 2019.
6	Debashisha Mishra. Anna Maria Vegni, Valeria Loscri, Enrico Natalizio. 2020. <i>Drone Networking in 6G Era.</i> 2020.
7	Keller, Matthias y Weidner, Karl-Heinz. <i>El análisis de espectro en tiempo real.</i>
8	Mohamed Benzaghta, Giovanni Geraci, Rasoul Nikbakht, David López-Pérez. 2022. <i>UAV Communications in Integrated Terrestrial and.</i> 2022.
9	AEROTOOLS, 2023. Procedimientos para el diseño y fabricación de drones MULTIRROTOR.