



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial
y Diseño Industrial

Diseño de un dron de entrega de suministros médicos y
gestión de su uso

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

AUTOR/A: Ferro Lago, Alberto

Tutor/a: Ramón Fernández, Francisca

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

————— TRABAJO FIN DE MÁSTER —————

**DISEÑO DE UN DRON DE ENTREGA
DE SUMINISTROS MÉDICOS Y
GESTIÓN DE SU USO**



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

TRABAJO FINAL DEL

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

REALIZADO POR

Alberto Ferro Lago

TUTORIZADO POR

Francisca Ramón Fernández

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Resumen

Este trabajo se enfocará en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de entrega de suministros médicos mediante drones, con el objetivo de proporcionar una solución rápida y eficiente para llegar a comunidades remotas o de difícil acceso. Se llevará a cabo una revisión de la literatura existente para identificar las limitaciones y oportunidades en este campo, así como trabajos similares realizados y se evaluarán los diferentes tipos de drones y sus características técnicas. El diseño del sistema incluirá la selección del tipo de dron, la capacidad de carga, la ruta de entrega, la duración de la batería y el sistema de control remoto, así como la seguridad del dron y de los suministros médicos durante la entrega. Se evaluará la eficacia y eficiencia del sistema en diferentes escenarios, y se evaluarán los costos y beneficios en comparación con otros métodos de entrega de suministros médicos. Se estudiarán posibles mejoras del diseño y la implementación de sistemas de entrega de suministros médicos mediante drones, incluyendo aspectos como la estandarización de los sistemas o la cooperación con otros activos del sector médico.

Palabras clave: *dron, suministro de medicamentos, comunidades remotas, estandarización, sector médico.*

Abstract

This work will focus on the design, development, and implementation of a medical supplies delivery system using drones, with the aim of providing a fast and efficient solution to reach remote or hard-to-access communities. A review of existing literature will be conducted to identify limitations and opportunities in this field, as well as similar works done, and different types of drones and their technical characteristics will be evaluated. The system design will encompass drone type selection, payload capacity, delivery route, battery duration, remote control system, as well as drone and medical supplies security during delivery. The effectiveness and efficiency of the system will be assessed across various scenarios, and costs and benefits will be evaluated in comparison to other methods of medical supplies delivery. Possible enhancements to the design and implementation of medical supplies delivery systems using drones will be studied, including aspects such as system standardization or collaboration with other assets in the medical sector.

Keywords: *drone, medicine supply, remote communities, standardization, medical sector.*

Resum

Aquest treball es centrarà en el disseny, desenvolupament i implementació d'un sistema d'entrega de subministraments mèdics mitjançant drons, amb l'objectiu de proporcionar una solució ràpida i eficient per a arribar a comunitats remotes o de difícil accés. Es durà a terme una revisió de la literatura existent per identificar les limitacions i oportunitats en aquest camp, així com treballs similars realitzats i s'avaluaran els diferents tipus de drons i les seves característiques tècniques. El disseny del sistema inclourà la selecció del tipus de dron, la capacitat de càrrega, la ruta d'entrega, la durada de la bateria i el sistema de control remot, així com la seguretat del dron i dels subministraments mèdics durant l'entrega. Es valorarà l'eficàcia i eficiència del sistema en diferents escenaris, i es compararan els costos i beneficis amb altres mètodes d'entrega de subministraments mèdics. Es estudiaran possibles millores del disseny i la implementació de sistemes d'entrega de subministraments mèdics mitjançant drons, incluint aspectes com l'estandardització dels sistemes o la col·laboració amb altres actius del sector mèdic.

Paraules clau: *dron, sumistre de medicaments, comunitats remotes, estandarització, sector mèdic.*

Agradecimientos

Quiero dedicar este trabajo a mi tutora Francisca Ramón Fernández, cuya orientación y sabiduría han sido pilares fundamentales en la culminación de este Trabajo de Fin de Máster. Su comprensión, paciencia y compromiso han sido una guía invaluable en mi trayectoria académica. También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, cuyo amor incondicional y apoyo constante me han brindado las bases necesarias para alcanzar este logro. Sus palabras de aliento y sacrificio han sido una inspiración constante, motivándome a superar obstáculos y perseguir mis metas. Su apoyo financiero y emocional han sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito, y les estoy eternamente agradecido por su dedicación y sacrificio en cada paso de este viaje académico.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Resum	III
Agradecimientos	IV
Índice general	IV
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Lista de símbolos	XI
I MEMORIA	1
1. Introducción	2
2. Objetivos del proyecto	3
3. Metodología	4
4. Estado del arte	5
4.1. Proyectos similares	5
4.2. Rendimiento drones actuales	8
4.2.1. Vulcan UAV Airlift	8
4.2.2. DJI S900	9
4.2.3. US-01	9
4.2.4. DJI Mavic 3 Pro	10
4.3. Drones multirrotor	11
4.3.1. Tricópteros	11
4.3.2. Cuadricóptero	12
4.3.3. Hexacóptero	12
4.3.4. Octocóptero	13
4.4. Componentes del dron	14
4.4.1. Motores	14
4.4.2. Variadores de potencia	16

4.4.3. Hélices	17
4.4.4. Baterías	18
4.4.5. Controlador de vuelo	18
5. Diseño del dron	19
5.1. Elección del multirrotor	19
5.2. Elección de componentes	20
5.2.1. Selección de motor	20
5.2.2. Variador de potencia	21
5.2.3. Hélice	22
5.2.4. Batería	23
5.2.5. Controlador de vuelo	24
5.2.6. Mando	25
5.2.7. Cámara	25
5.2.8. Armazón	26
5.2.9. Soporte para medicamentos	29
5.3. Peso	30
6. Rendimiento del dron	32
6.1. Simulación en eCALC	32
6.2. Análisis de los resultados	33
7. Diseño 3D del dron	35
8. Legislación actual	37
9. Implementación	41
9.1. Posibles escenarios	41
9.2. Duración de las misiones	42
9.3. Infraestructura	43
9.3.1. Plataforma de despegue	43
9.3.2. Repuestos	43
9.3.3. Carga del dron	44
9.3.4. Sistemas de gestión de tráfico aéreo	44
9.3.5. Plataforma de aterrizaje	44
9.3.6. Piloto	44
10. Costes	45
10.1. Coste unitario	45
10.2. Coste de implementación	46
11. Comparativa con otros sistemas	47
12. Presupuesto	50
13. Conclusiones	51
Bibliografía	52

II ANEXOS	57
A. Datos de rendimiento del dron	58

Índice de figuras

4.1. Dron diseñado para catástrofes naturales [3]	5
4.2. Dron de reparto de medicamentos para comunidades indígenas en Costa Rica [4]	6
4.3. Dron de reparto de Amazon, <i>Prime Air</i> [5]	7
4.4. Vulcan UAV Airlift [6]	8
4.5. DJI S900 [6]	9
4.6. US-01 [7]	10
4.7. DJI Mavic 3 Pro [6]	10
4.8. Dron tricóptero [9]	11
4.9. Dron cuadricóptero [10]	12
4.10. Dron hexacóptero [8]	13
4.11. Dron octocóptero [8]	13
4.12. Motor de un dron cuadricóptero [11]	14
4.13. Paso de hélice [13]	17
5.1. DJI E1200 4216-310 [17]	21
5.2. ZTW Spider 20A PRO [18]	22
5.3. Hélices Matrice 30 series DJI 1671 [19]	23
5.4. Zeee 4S Lipo - Batería de 6000 mAh 14.8 V 100 C [20]	23
5.5. Controlador DJI FPV [21]	24
5.6. Control inteligente DJI RC PRO [22]	25
5.7. Cámara Firefly Q6 [23]	26
5.8. Diseño 3D del dron	26
5.9. Deformación del brazo del dron con carga máxima	28
5.10. Tensión en el brazo del dron con carga máxima	28
5.11. Influencia de la distancia entre los ejes de las hélices [25]	29
5.12. Diseño 3D del soporte para medicamentos	30
6.1. Configuración del dron introducida para el cálculo en eCalc, con una estimación del peso	32
6.2. Resultados de la simulación en eCalc, con una estimación del peso	32
6.3. Configuración del dron introducida para el cálculo en eCalc	33
6.4. Resultados de la simulación en eCalc	33
7.1. Diseño 3D del proyecto	35
7.2. Planos del dron	36
8.1. Clasificación de los tipos de vuelo	39
8.2. Zonas restringidas para el vuelo [28]	40

9.1. Posibles escenarios para el uso del sistema	42
9.2. Plataforma de despegue [29]	43
11.1. Trayecto entre Ascaso y el Bergua López	48
A.1. Comparativa del alcance del dron según su velocidad	58
A.2. Características eléctricas del motor	59
A.3. Características principales del dron obtenidas en eCalc	59

Índice de tablas

5.1. Ventas de drones en 2022 [16]	20
5.2. Peso componentes del dron	30
5.3. Peso del dron	31
10.1. Coste componentes del dron	45
10.2. Coste anual del sistema de reparto	46
11.1. gasto anual del sistema de reparto	49
12.1. Costes del estudio	50

Lista de símbolos

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
BEC	Circuito Eliminador de Batería
BMS	Sistema de Gestión de Baterías
CCSS	Caja Costarricense de Seguro Social
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
ESC	Controlador de Velocidad Electrónico
IVA	Impuesto del Valor Agregado
KV	Kilovoltio por Vuelta
MTOM	Máxima Masa de Despegue
RPM	Revoluciones Por Minuto
UTM	Gestión de Tráfico No Tripulado

Parte I
MEMORIA

Capítulo 1

Introducción

España ostenta el título de tener la mayor cantidad de áreas despobladas en la Unión Europea. Curiosamente, en el otro extremo de la escala, Madrid y Barcelona destacan como las dos provincias europeas más pobladas en el año 2021, con una población de 6,7 y 5,7 millones de personas [1], respectivamente. Las zonas rurales y despobladas de España experimentan una disminución constante de su población debido a la migración hacia las áreas urbanas más grandes del país. Estas áreas a menudo enfrentan desafíos como la falta de oportunidades económicas, servicios públicos limitados y un envejecimiento de la población.

Según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, las diferencias en el acceso a la atención médica entre áreas urbanas y rurales son una preocupante forma de desigualdad regional en España. Mientras que las zonas urbanas han mejorado su cobertura médica, las áreas rurales enfrentan dificultades económicas, el 89% de los residentes en zonas rurales se ven obligados a recorrer un promedio de 8 kilómetros [2] para acceder a la atención médica esencial, lo que resulta en un gasto significativo de sus recursos económicos destinados a la atención de su salud, principalmente en desplazamientos y alojamiento. Con el fin de abordar esta problemática, en el presente proyecto se llevará a cabo el diseño de un vehículo aéreo no tripulado destinado a la distribución de suministros médicos en áreas geográficamente remotas o de difícil acceso.

El empleo de sistemas de aeronaves no tripuladas ha experimentado un crecimiento significativo, en gran parte debido a su capacidad para acceder con facilidad a lugares y regiones a los cuales el acceso resultaría altamente complicado o incluso imposible para los seres humanos. Entre estos lugares se incluyen viviendas situadas en zonas montañosas y áreas distantes de los centros urbanos principales.

Capítulo 2

Objetivos del proyecto

Concretamente, el tema de este TFM surge del compromiso como ciudadano que conforma la sociedad de facilitar a aquellas personas que se encuentran en zonas de difícil acceso o zonas apartadas, como montañas o acantilados, el acceso a medicamentos. La propuesta de dron que se desarrollará consiste en un dron multirroto, pilotado por un miembro del personal de salud capacitado para operar el dron de manera segura y eficiente. Por todo ello, el objeto central de este TFM es el diseño de un dron de reparto de medicamentos y gestión de su uso, para atender a este fin se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo principal:

- Configuración y diseño de un dron capaz de sobrevolar zonas montañosas y transportar medicamentos. Tratando de conseguir un dron estandarizable, de bajo coste, amplia autonomía y capacidad de carga suficiente para transportar medicamentos.

Objetivos secundarios:

- El estudio de las bases legales del proyecto y su posible integración en el sector de sanidad público.
- Comparar las ventajas y desventajas en cuanto a coste y rendimiento respecto a otros sistemas.

Capítulo 3

Metodología

El primer paso será realizar una búsqueda bibliográfica de proyectos similares, y su desarrollo actual, para obtener una base de la que partir en lo relativo al uso de drones de reparto. Posteriormente, se realizará un estudio de los actuales drones comerciales con mejores prestaciones, para obtener una estimación aproximada de la capacidad de carga y autonomía que se podrá lograr. Se elegirán los componentes del dron, centrándose maximizar la eficiencia del dron durante la misión. A través del software *eCalc* se calcularán y estudiarán sus prestaciones. Además, se realizará el diseño 3D con el software CAD *SolidWorks*. También se comprobará con el software *Ansys* que el dron cumple con los requisitos estructurales necesarios para la misión.

En última instancia, se llevará a cabo un exhaustivo análisis de las bases legales que sustentan el funcionamiento y la operativa del dron. Esta evaluación se centrará en desentrañar los marcos regulatorios existentes a nivel nacional e internacional que influyen en su utilización, abarcando desde requisitos de registro y licenciamiento hasta las responsabilidades legales asociadas a su operatividad. Paralelamente, se explorará el potencial de integración de este dron en los servicios de sanidad española. A través de un enfoque prospectivo, se examinarán las posibles aplicaciones y beneficios de esta tecnología en la prestación de servicios médicos, considerando su capacidad para agilizar respuestas, optimizar procesos, reducir costes y mejorar la eficiencia en la atención médica, a la par que se evaluarán los posibles retos y obstáculos a superar en su incorporación exitosa al ámbito de la salud.

Capítulo 4

Estado del arte

4.1. Proyectos similares

En lo relativo al diseño de drones para el reparto de medicamentos, existen proyectos con ciertas similitudes al realizado en este trabajo, pero todos poseen amplias diferencias en varios aspectos.

El proyecto que más se podría semejar al realizado, sería el proyecto llevado a cabo por la compañía estadounidense Flirtey [3], como se puede observar en la Figura 4.1 se trata de un dron con la finalidad de poner a disposición de los afectados por catástrofes naturales las ventajas que ofrecen dichos dispositivos, en particular los drones diseñados para la distribución de medicamentos.



Figura 4.1: Dron diseñado para catástrofes naturales [3]

El propósito es que estos vehículos no tripulados sean capaces de transportar y entregar suministros médicos en las áreas damnificadas, incluso en aquellas que puedan quedar aisladas. Se trata de situaciones en las cuales el tiempo se convierte en un factor crítico, y donde los servicios de atención sanitaria podrían requerir varias horas o inclusive días para llegar a destino. Es una labor contrarreloj que podría ser abordada de manera eficaz gracias a las ventajas que brinda la implementación de los drones en este contexto.

Podemos encontrar una propuesta similar en Costa Rica [4], donde existe un proyecto de implementación de drones para la entrega de medicinas en las comunidades indígenas, observable en la Figura 4.2. A pesar de su extensión territorial reducida, este pequeño país en el corazón de Centroamérica alberga una población indígena considerable que depende crucialmente de recursos esenciales, en especial en lo que respecta a la salud. Cuando enfrentan enfermedades, contratiempos o la necesidad de atender condiciones crónicas con medicamentos, estas comunidades lidian con desafíos notables, por lo que los drones son una buena solución, similar a la propuesta en este trabajo.



Figura 4.2: Dron de reparto de medicamentos para comunidades indígenas en Costa Rica [4]

Esta estrategia innovadora ha sido concebida por el equipo directivo de la Caja Costarricense de Seguro Social, CCSS [4]. Se pretende implementar en un futuro, y se estima que distribuirá en promedio cerca de 10.000 juegos de medicamentos a personas específicamente ubicadas en ocho asentamientos indígenas. Este proyecto piloto, que actualmente se encuentra en desarrollo, tiene la visión de expandirse a otras zonas del territorio costarricense, por lo que será un gran espejo en el que apoyarse para su desarrollo en el territorio español.

En lo relativo a drones de carga, es importante destacar el proyecto *Prime Air* [5], Figura 4.3 de *Amazon*, al momento de la adquisición de un producto por parte del cliente, dicho producto se dispone para su envío desde un centro logístico cercano. No obstante, esta operación no involucra la utilización de vehículos como furgonetas o automóviles convencionales. En su lugar, el artículo es cargado en un dron eléctrico completamente autónomo, el cual ha sido previamente programado con las coordenadas de destino y está guiado por medio de GPS. Este dron opera a alturas siempre inferiores a los 120 metros y posee la capacidad de transportar paquetes de hasta 2,2 kilogramos.



Figura 4.3: Dron de reparto de Amazon, *Prime Air* [5]

Este dron, se diferenciará del proyecto actual, pues el procedimiento requiere que el cliente utilice una plataforma de aterrizaje especialmente diseñada para indicar al dron el punto exacto en el cual debe efectuar su descenso y entrega, mientras que el dron del proyecto será teledirigido por un operador de drones. Aunque, es una buena base para fijar una carga aproximada que podrá soportar el dron y una posible restricción de altura.

4.2. Rendimiento drones actuales

A la hora de buscar drones similares al del proyecto se buscarán aquellos drones que destaquen en aspectos importantes para la misión, como capacidad de carga o autonomía. En el siguiente capítulo se estudiarán cuales son más importantes, pero en el presente veremos los drones comerciales que más destacan en capacidad de carga, para tener las mínimas restricciones posibles en cuanto al tipo de material sanitario que se puede entregar, autonomía y maniobrabilidad, teniendo en cuenta el contexto del proyecto que implica un tamaño reducido y bajo coste.

Actualmente, se están consiguiendo proyectos con muy buenas características, destacando en cuanto a capacidad de carga los drones de Vulcan y con un tamaño más reducido el DJI S900. Estos modelos se encuentran entre los 8 y los 30 kg, siendo dos de los drones comerciales con mayor capacidad de carga.

En cuanto a autonomía los drones actuales que más destacan se encuentran sobre los 30-40 minutos, destacando el proyecto revolucionario de US-01 que se mencionará más adelante, cuyo concepto no será aplicado en este proyecto, pues no se necesitarán autonomías tan amplias. El dron más interesante en este aspecto para basarse en el actual proyecto es el DJI Mavic 3 Pro, acercándose a los 45 minutos de autonomía [6], característica que se tratará de replicar en el actual proyecto.

4.2.1. Vulcan UAV Airlift

Actualmente, el dron con mayor capacidad de carga del mercado es el Airlift de Vulcan, Figura 4.4. Dron de alta capacidad de carga, capaz de elevar y desplazar cargas de hasta 30 kg [6], este dron exhibe una construcción resistente con una elevada potencia y precisión. Su núcleo central está compuesto por tubos transparentes, permitiendo una fácil inspección de los sistemas de energía, al tiempo que protege los componentes vitales, siendo conveniente para operaciones en entornos rurales como los del proyecto.



Figura 4.4: Vulcan UAV Airlift [6]

Al ser el dron con mayor capacidad de carga del mercado no es extraño su elevado precio, se trata de un dron de 14.200€ [6], demasiado elevado para el contexto de la misión. Sin mencionar que su elevado tamaño podría ser un impedimento.

4.2.2. DJI S900

El DJI S900, observable en la Figura 4.5, con un peso de tan solo 3,3 kg, demuestra su valía como un dron de carga, elevando su propio peso con una capacidad de carga útil de 8,2 kg [6]. Su diseño ligero no compromete su capacidad de trabajo robusto, convirtiéndolo en la elección idónea para equipos de videógrafos expertos o exploradores. Este dron de 18 minutos de tiempo de vuelo es una una gran elección para conseguir buenas tomas aéreas. Gracias a poseer uno de los motores más eficientes del mercado, el DJI S900 garantiza un rendimiento óptimo y una gran confiabilidad.



Figura 4.5: DJI S900 [6]

Aunque parezca una gran disminución de peso respecto al Vulcan UAV Airlift, con un 27 % de la capacidad de su capacidad de carga, será un mejor modelo en el que basarse. Su reducido tamaño y bajo coste, de apenas 1.200 € [6], lo convierten en el modelo perfecto en cuanto a capacidad de carga para basarse en el proyecto.

4.2.3. US-01

El US-01, Figura 4.6, ha sido concebido con una visión innovadora: desarrollar el diseño del multirrotoir a partir de la batería. En este diseño la batería ocupa casi todo el cuerpo, inspirado por la experiencia de la creación de baterías de Tesla [7]. En el contexto actual, los drones comerciales suelen tener una autonomía de vuelo de 20-30 minutos. Este dron es capaz de alcanzar las 2 horas [7], lo que es un hito técnico notable, logrado gracias a este nuevo enfoque, que no se intentará replicar en el proyecto actual, puesto que se necesitarán proyectos más estandarizados. Aunque, es interesante ver otras posibles configuraciones para futuros proyectos.



Figura 4.6: US-01 [7]

Salió al mercado en 2019, con un precio de 7.000€ [7] sin contar ni accesorios ni cámara. Un amplio tamaño, de más de medio metro de envergadura, para poder portar todas las baterías que le aportan esa amplia autonomía.

4.2.4. DJI Mavic 3 Pro

Este dispositivo, Figura 4.7, se distingue por la implementación de un sistema novedoso de triple cámara y por su batería, que proporciona una autonomía de vuelo de 43 minutos [6]. Además de esto, el dron ofrece transmisión de vídeo en alta definición a una distancia de 15 kilómetros. Con estas características, el Mavic 3 Pro establece unos óptimos estándares en términos de duración y calidad que se podrán tomar como base para desarrollar el dron del proyecto.



Figura 4.7: DJI Mavic 3 Pro [6]

Con un precio de 4.6000 € [6], lejos de lo buscado para la realización de este proyecto, aporta unas grandes prestaciones para aficionados a filmar con el dron, pero faltaría por comprobar su comportamiento como dron de carga.

4.3. Drones multirrotor

Una parte fundamental del diseño del dron consistirá en seleccionar la cantidad de rotores que tendrá. El número de rotores influirá en diferentes variables como: su coste, su autonomía, su capacidad de carga o su tamaño. En este apartado se explicarán las características de cuatro modelos de multirrotor distintos: tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros, para posteriormente elegir el que cumpla un mayor número de requisitos para el cumplimiento de la misión.

Es posible clasificar los drones según la cantidad de rotores en tricópteros, cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros. También se pueden clasificar según la configuración de los rotores entre estándar o coaxial, con dos juegos de rotores apilados uno encima del otro y girando en direcciones opuestas.

4.3.1. Tricópteros

El dron tricóptero tiene 3 rotores verticales como puede observarse en la Figura 4.8. Es la versión más simple de todos los modelos. Sus funciones son simples, y en muchos casos, un tricóptero se suele utilizar solamente para volar, por lo que su uso se suele limitar a aficionados o a niños [8].



Figura 4.8: Dron tricóptero [9]

- Ventajas: los tricópteros están diseñados para ser fáciles de construir y reparar. Aparte se pueden comprar a bajo precio [8]. El chasis de un tricóptero es mucho más simple que el de los otros, lo que lo hace adecuado para principiantes.
- Desventajas: los materiales que se utilizan para construir un tricóptero no suelen ser de gran calidad. Esto significa una vida útil más corta y un mayor riesgo de daños. Si un rotor no funciona, el dron no puede continuar con sólo dos rotores de vuelta.

4.3.2. Cuadricóptero

Un dron cuadricóptero es propulsado por 4 rotores, Figura 4.9. Son los drones más utilizados, son muy flexibles en cuanto a la calidad del material y se usa en diferentes escenarios, como fotografía [8] o levantamiento de cargas. Más del 80 % de los aviones no tripulados que hay en el mercado son cuadricópteros [8]. Aunque por el auge de los drones hexacópteros y octocópteros, de los que se hablará más adelante, este porcentaje disminuye anualmente.



Figura 4.9: Dron cuadricóptero [10]

- Ventajas: gracias a los cuatro rotores, el cuadricóptero tiene una mayor potencia de elevación que el tricóptero. Es muy maniobrable y puede volar en cualquier dirección. Los cuatro rotores crean una buena estabilidad. Posee un tamaño más reducido que el hexacóptero y el octocóptero.
- Desventajas: el cuadricóptero tiene menos potencia para generar sustentación que sus otros dos inmediatos competidores: el hexacóptero y el octocóptero.

4.3.3. Hexacóptero

Añade dos rotores más al cuadricóptero, disponiendo de 6 en total. Los rotores están dispuestos en forma circular por encima del cuerpo principal del hexacóptero, que suele tener dos apoyos en forma de esquís, que permiten que el dispositivo sea estable cuando aterriza, como puede observarse en la Figura 4.10. Suele ser utilizado para tomar fotos con cámaras de alta calidad. Principalmente, porque la estabilidad y los movimientos de vuelo del hexacóptero son de alta calidad [8]. Los compradores profesionales de drones que buscan un dron que pueda llevar una cámara personalizada de alta calidad suelen optar por un hexacóptero o un octocóptero. Esto se debe a la ventaja en términos de potencia de sustentación. Los hexacópteros también se están volviendo más populares a lo largo de estos años, debido a la flexibilidad que ofrecen.



Figura 4.10: Dron hexacóptero [8]

- Ventajas: posee más potencia de elevación que el cuadricóptero y el tricóptero, lo que le otorga una mayor capacidad de carga, aparte es más estable y flexible. Y si, al contrario que con los anteriores dos drones, una de las palas de la hélice falla, las otras cinco aún pueden mantenerlo volando [8].
- Desventajas: estas ventajas implican que los drones hexacópteros son más caros. Los rotores del hexacóptero son más grandes que, por ejemplo, el cuadricóptero, lo que significara un mayor tamaño.

4.3.4. Octocóptero

Tiene dos rotores más que el hexacóptero. El octocóptero tiene 8 hélices, Figura 4.11, lo que le permite tener una capacidad de vuelo mucho mejor que todos los drones anteriormente mencionados. El octocóptero combina la velocidad de vuelo, la maniobrabilidad y la potencia de sustentación de los cuadricópteros y hexacópteros [8]. El octocóptero también destaca por poseer la mayor capacidad de carga de estos cuatro tipos de drones y una gran estabilidad.



Figura 4.11: Dron octocóptero [8]

- **Ventajas:** los drones octocópteros son muy rápidos. Sus ocho hélices giratorias le confieren una gran potencia de elevación y aceleración. Además, puede volar a través de la lluvia y los fuertes vientos. Tiene la ventaja de que, si pierde 2 o 3 motores o hélices, por un impacto, puede seguir volando eficazmente [8]. Su principal ventaja respecto al resto de drones es su elevada capacidad de carga. También es capaz de llegar a grandes alturas, aunque para el objetivo del trabajo no es una característica básica.
- **Desventajas:** el octocóptero es grande y es, sin lugar a dudas, el dron más caro comparándolo con los otros tres que se han mencionado en los anteriores puntos. Y si alguna pieza se rompiera, es caro reconstruirla o reemplazarla. Consume mucha energía, lo que significa que en la mayoría de los casos tiene un menor tiempo de vuelo. Requieren baterías adicionales y carga frecuente.

4.4. Componentes del dron

4.4.1. Motores

Los drones multirrotores funcionan con motores eléctricos, Figura 4.12 que convierten la energía eléctrica, obtenida de las baterías, en energía mecánica de rotación. Esta transformación de energía se produce gracias a los campos magnéticos, que son generados en las propias bobinas del motor [11]. Básicamente, el funcionamiento de un motor eléctrico se sustenta en las fuerzas de atracción y repulsión que se establecen entre un imán y una bobina, por la que se hace circular corriente eléctrica. De esta forma, el motor eléctrico se compone de dos partes fundamentales:



Figura 4.12: Motor de un dron cuadricóptero [11]

- Estator: constituye la parte fija del motor. No se mueve mecánicamente, aunque sí lo hace magnéticamente.
- Rotor: constituye la parte móvil del motor. Es el componente de transferencia mecánica, realiza la conversión de energía eléctrica a mecánica.

Dentro de los motores eléctricos, es posible encontrar dos tipos que serán empleados en los drones y estos son: motores brushed (motores con escobillas) y motores brushless (motores sin escobillas). Las diferencias entre estos motores eléctricos vienen dadas por su funcionamiento y estructura[11].

Motores brushed

Los motores brushed utilizan escobillas que están conectadas a un colector para lograr la inversión de polaridad en el rotor. Estas escobillas tienen la función de cambiar mecánicamente la corriente en las bobinas del motor. En esencia, las escobillas actúan como interruptores que permiten cambiar la dirección de la corriente, lo que a su vez hace que los polos magnéticos se muevan hacia los imanes permanentes situados en la parte estática o estator del motor. [11]. Además, la mayoría de estos motores no tendrán un contacto directo con la hélice, pues suelen ir acompañados de reductoras que permiten que no sean llevados al límite de trabajo en ningún momento, aumentando así su vida útil. En cuanto a su potencia, todos los modelos de motores brushed con las mismas dimensiones suelen tener la misma y ésta aumenta proporcionalmente con el tamaño del motor.

En cuanto al coste de estos motores, aunque en un primer momento salen más baratos que los brushless. Sin embargo, al generarse más fricción a la hora de realizar el cambio de polaridad, las escobillas se van deteriorando poco a poco, hasta ser necesario reemplazarlas. Esto supone un ciclo de vida menor y, por tanto, un incremento de costes a largo plazo. En términos de eficiencia, como consecuencia de la pérdida de calor que se produce en las escobillas, se produce un mayor desperdicio de potencia. Por este motivo, los brushless son mucho más eficientes que los brushed [11].

Finalmente, es importante señalar que este tipo de motor presenta restricciones mecánicas debido al uso de escobillas, lo que resulta en un rango de velocidad más limitado en comparación con los motores brushless, los cuales se describirán en la siguiente sección. Por lo tanto, es recomendable utilizar este tipo de motor en proyectos de drones que no demanden altas velocidades ni vuelos de larga distancia. Esto explica por qué la mayoría de los drones recreativos emplean este tipo de motores.

Motores brushless

El motor brushless, carece de escobillas para realizar el cambio de polaridad, necesario para provocar el movimiento del rotor. Este es el tipo de motor que se emplea comúnmente en los drones del mercado [11]. A pesar de que la mayoría de los motores con configuración sin escobillas utilizan corriente alterna para invertir la polaridad, esta opción no es viable en un dron. Dado que los motores de los

drones se alimentan con baterías de corriente continua, es necesario llevar a cabo esta inversión de polaridad de una manera diferente. Por este motivo, es necesario que cada uno de estos motores lleve su ESC (Electronic Speed Controller) o variador electrónico, cuyo funcionamiento se explicará con mayor profundidad en el siguiente apartado [11].

Para presentar las características esenciales de un motor brushless, existe una numeración estándar que permite definir de forma clara sus capacidades y su comportamiento. Dicha asignación consta de 8 cifras. Las 4 primeras, se leen de 2 en 2 y se corresponden con la longitud del motor y con su altura [11]. Las 4 últimas, representan el valor del KV del motor. El factor KV (kilovoltio por vuelta) indica el número de revoluciones por minuto a las que es capaz de girar el motor por cada voltio de electricidad que se le aplica.

Así, para mayores valores de KV se obtendrán valores mayores de velocidad a coste de un menor valor de par motor y viceversa [11]. Por lo tanto, este factor servirá para encontrar un equilibrio entre velocidad y par teniendo en cuenta las características del modelo a emplear.

4.4.2. Variadores de potencia

Los variadores de potencia, en inglés Electronic Speed Controller, se utilizan para controlar las revoluciones por minuto y la dirección de giro de los motores brushless, así como para frenar su movimiento. Tal y como se ha comentado en la sección 4.4.1, en los motores brushless no existen escobillas para poder realizar el cambio de polaridad, sino que se consigue por medio de un controlador o variador de potencia. Este controlador recibe información en todo momento relacionada con la posición del rotor y, a través de pulsos eléctricos compatibles, controla el giro del mismo y su velocidad [12]. Todos los controladores de velocidad electrónico se compone de los siguientes elementos:

- Dos cables que lo conectarán con la batería.
- Tres cables que lo conectarán al motor para el envío de los pulsos eléctricos.
- Un conector, con dos o tres cables, que se conecta a una controladora cuya función es aportar al ESC información relacionada con la posición del rotor. El número de cables del conector depende de si el variador lleva incluido BEC, porque entonces serían 3 cables y no 2 . El BEC (Battery Eliminator Circuit), es un circuito eliminador de batería que lo que consigue es suministrar un voltaje estabilizado para que funcionen tanto el receptor como los servos del controlador. Esto elimina la necesidad de tener que llevar una batería extra en el modelo [12].
- Un núcleo ESC, que contiene toda la parte electrónica. Su tamaño dependerá de si el controlador incorpora BEC, lo que implicará un mayor tamaño.

4.4.3. Hélices

Las hélices desempeñan un papel fundamental en cualquier multirrotor, pues de ellas dependerá la fuerza de empuje de cada uno de los sistemas propulsores. Elevan al dron en el aire y su giro depende de los motores con los que cuenta el multirrotor. En este apartado, se comentarán las características principales de las hélices y cómo estas afectarán al funcionamiento global del dron del proyecto. En primer lugar, cabe mencionar que las hélices están caracterizadas por dos parámetros que indican su comportamiento de vuelo[13]. Estos son:

- Longitud de la hélice: es el diámetro del círculo imaginario que dibujaría la hélice en el aire al girar. En otras palabras, esta longitud es la distancia entre las puntas de las palas de la hélice.
- Paso de la hélice: es la distancia teórica que avanzará la hélice a lo largo de una revolución completa, sobre su eje de rotación.

El valor de ambos parámetros es determinante en relación a las características del vuelo y a la potencia requerida. En cuanto a la longitud, conforme se aumenta la distancia entre las palas se produce un mayor empuje, pero el consumo de corriente aumenta, lo que se traduce en una disminución de autonomía en comparación con hélices más pequeñas acompañadas de la misma batería, por lo que se deberá buscar un equilibrio. Además, al aumentar la longitud se incrementa también el peso. Por otro lado, al aumentar el paso de la hélice se obtiene también un mayor empuje, como se muestra en la Figura 4.13, pero la velocidad en la punta de las hélices aumenta, así como la cantidad de aire en movimiento, lo que intensifica las turbulencias debidas al giro e implica un mayor consumo de potencia [13].

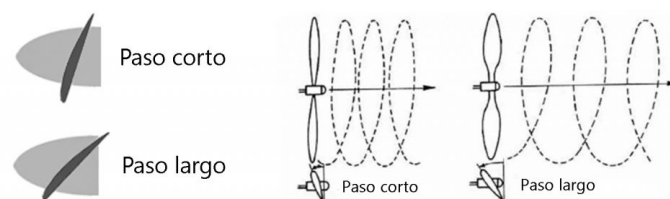


Figura 4.13: Paso de hélice [13]

En resumen, al aumentar la longitud y el paso de las hélices se obtiene un mayor empuje a costa de un mayor consumo de corriente. Si se opta por hélices de menor longitud y de menor paso, se reducirá el empuje, pero aumentará la agilidad del dron, permitiendo que este pueda navegar a mayores velocidades. Por este motivo, será necesario analizar cuáles son las prioridades, si velocidad o empuje en función de la aplicación del multirrotor, y encontrar el equilibrio entre el consumo y la eficiencia que asegure la máxima eficiencia durante el vuelo.

4.4.4. Baterías

En cuanto a baterías existe una amplia gama, pero las restricciones de peso y sobre todo de coste de lproyecto obligan a usar baterías de litio (LiPo). Esto se debe a su alta densidad energética, soporte de ratios de descarga elevados y resistencia a las vibraciones, debido a estos parámetros carece de sentido mencionar el resto de baterías pues no serán aplicables al proyecto [14].

Antes de hablar de baterías existe un componente fundamental en el sistema que es el BMS (Battery Management System) [14] esta placa monitorea todas las celdas que componen la batería y se encarga de que tengan un voltaje equilibrado entre ellas; también se encarga de que no se apliquen sobrecargas a la batería, así como evitar el deterioro excesivo de las celdas. Elegir un buen BMS proporcionará la información necesaria para saber la vida estimada de la batería e intentar prolongarla o reemplazarla.

4.4.5. Controlador de vuelo

El controlador de vuelo es un sistema que analiza la información captada por sensores y los comandos emitidos por el operador, y su principal objetivo es mantener el vehículo en vuelo bajo control. Su tarea fundamental consiste en calcular las RPM (Revoluciones Por Minuto) de cada motor en respuesta a las órdenes del piloto transmitidas al controlador de vuelo. Este último determina cómo ajustar los motores en concordancia con esas instrucciones [14].

En el controlador de vuelo existe muchísima más versatilidad que en el resto de componentes pues a parte del modelo que se elija, este podrá incorporar en ocasiones distintos softwares de control, por lo que la elección se vuelve muy amplia y compleja. Un ejemplo de esto es el software *Open Source Ardupilot* que permite ejecutar su código en más de 50 placas de controlador [14].

La mayoría de los controladores de vuelo también emplean sensores para complementar sus cálculos. Estos van desde simples giroscopios para orientación hasta barómetros para mantener automáticamente la altitud. El GPS también se puede utilizar con fines de piloto automático o de seguridad. Con una configuración adecuada del controlador de vuelo, las entradas de control de un piloto deben corresponder predeciblemente al comportamiento de la nave[14]. Los controladores de vuelo son configurables y programables, lo que permitirá ajustar la respuesta para la misma entrada al sistema, logrando así diferentes características de vuelo.

Capítulo 5

Diseño del dron

En el proceso de diseño del dron, resultará esencial discernir el tipo de dron y las características que queremos potenciar para el correcto desarrollo de la misión. El primer paso será distinguir los casos en los que el uso del dron será beneficioso, como pueden ser:

- Accidentes en zonas montañosas, en el que ni la ambulancia, ni los técnicos en emergencias sanitarias dentro de ella, puedan alcanzar al herido.
- Entrega de medicamentos a personas que vivan en zonas rurales apartadas.
- Entrega de medicamentos y suministros a personas atrapadas, ya sea en un ascensor o en un edificio colapsado.

Es posible observar que para la misión del dron lo que más importará es su capacidad de alcanzar zonas a las que los servicios sanitarios o los servicios de emergencias no pueden acceder. Por lo tanto, las características principales a potenciar del dron serán su autonomía, su tamaño y su capacidad de carga. También es importante destacar que al implementar este dron en el sector médico será importante conseguir un modelo sencillo, barato y estándar, por lo que se descartarán configuraciones coaxiales.

Como restricción adicional, será importante definir una aproximación de la carga útil máxima que podrá transportar el dron durante su misión, pues esta definirá la importancia de la capacidad de carga en su diseño. Al ser un dron que se empleará en el sector sanitario se ha definido el peor escenario de carga posible llevando una muleta de 1 kilogramo [15] y una cámara de máximo 200 gramos. Por lo que se diseñará el dron con un tamaño reducido, fácilmente estandarizable, amplia autonomía, con una carga útil máxima de 1,2 kilogramos y lo más económico posible.

5.1. Elección del multirroto

Ya con las principales características que debe tener el dron definidas, el primer paso será escoger el tipo de multirroto. Descartaremos el octocóptero al ser un modelo complejo, caro y de gran tamaño. También descartaremos el tricóptero por su corta vida útil y menor capacidad de carga.

Tipo de dron	Ventas
Tricóptero	20.000 unidades
Cuadricóptero	500.000 unidades
Hexacóptero	50.000 unidades
Octocóptero	10.000 unidades

Tabla 5.1: Ventas de drones en 2022 [16]

Finalmente, aunque el hexacóptero es el dron con mejores prestaciones en cuanto a capacidad de carga, se ha decidido escoger el cuadricóptero por ser de menor tamaño, más estandarizado y de menor coste, como puede observarse en la tabla 5.1 es el dron más vendido de todos los tipos de multirrotores.

Se antepone la facilidad de implantación al sector sanitario del dron a su rendimiento, aunque tratará de conseguirse los mejores resultados en lo relativo a autonomía, capacidad de carga y coste en siguientes capítulos, siempre cumpliendo el máximo de carga útil impuesto de 1,2 kilogramos.

5.2. Elección de componentes

La elección de los componentes del dron no será sencilla, pues la mayoría de componentes dependen entre sí y la elección de estos influirá en el peso del dron que deben levantar dichos componentes. Por lo que aplicaremos un método de diseño empleado en la aviación, llamado *diseño motorcentrado*. Se trata de un enfoque, en el que el diseño del avión se inicia considerando las características del motor, como la potencia, el empuje, el consumo de combustible y otros factores relacionados con la propulsión, pero esta vez trasladado al diseño del dron, tratando de conseguir una buena autonomía, sea capaz de levantar su propio peso y el kilogramo y medio de carga útil que llevará y siendo de un precio lo más reducido posible.

5.2.1. Selección de motor

El motor elegido debe ser capaz de levantar un peso cerca de 1200 gramos más el propio peso del dron, que será cercano a los 1800 gramos, y conseguir una relación de empuje-peso superior a dos. Esta relación entre el empuje y el peso, según la cual el dron debe ser capaz de mantenerse en el aire con la mitad de la aceleración máxima, se conoce como una de las reglas doradas para la elección de los motores en todo dron. Por lo tanto, siguiendo esta regla y teniendo en cuenta que el UAV será un cuadricóptero, el empuje que deberá proporcionar cada motor se calcula de la siguiente manera:

$$2 * \frac{\text{Peso total del dron}}{\text{Nº de motores}} = 2 * \frac{3 * 9,81}{4} = 14,7 \text{ N} \quad (5.1)$$

Por lo tanto, el motor escogido deberá proporcionar como mínimo 14,7 N. Entre todos los disponibles en el mercado, se ha escogido el DJI E1200 4216-310, Figura

5.1, motor muy comercial que en caso de fallo de alguno de los cuatro motores, poseen una gran cantidad de recambios, al tratarse de una de las marcas más vendidas [17], en lo relativo a drones comerciales.



Figura 5.1: DJI E1200 4216-310 [17]

Es un motor de 205 gramos y con un precio de 40 € [17], por lo que por su peso reducido y bajo precio ha sido escogido para este proyecto. ya con el motor elegiremos el resto de componentes, eligiendo los que aporten mejores características y un mayor rendimiento.

5.2.2. Variador de potencia

Antes de elegir un variador de potencia, se debe conocer qué motor se va a emplear. Ya que, si el motor escogido es uno brushed, no hará falta que el dron lleve un ESC. En este proyecto se ha escogido el motor DJI E1200 4216-310, que es un motor brushless [17], por tanto, habrá que analizar las diferentes opciones en el mercado de los variadores para escoger uno que pueda desempeñar su labor sin problemas.

Como ya se ha dicho anteriormente, el ESC recibe la información del controlador y la transmite a los motores. Esto supondrá una restricción a considerar. El motor va a trabajar a una corriente determinada y esto va a obligar a que el variador lo haga también a la misma corriente o a una superior. De no ser así, el ESC se calentará y puede terminar fallando e, incluso, ardiendo.

Tras un largo análisis del mercado, en cuanto a variadores de potencia, y tras estudiar una amplia gama de modelos, se ha decidido que el elegido sea el ZTW Spider 20A PRO, Figura 5.2. Este variador tiene una corriente continua de 20 A, suficiente para

cubrir los con los 16 A que trabajará el motor al máximo. Con un precio de 15,50 € y un peso de 8 gramos [18].



Figura 5.2: ZTW Spider 20A PRO [18]

5.2.3. Hélice

Para poder conseguir una relación empuje-peso mayor de 2 se buscarán hélices de longitud entre 14 y 18 pulgadas (entre 350 y 450 milímetros). En cuanto al paso, los propulsores que ofrecen pasos menores son capaces de producir más torque. Además, al aumentar el paso, la cantidad de aire desplazado aumenta y por lo tanto se generan más vibraciones [13]. Por este motivo, para conseguir mayor estabilidad de vuelo, dentro del rango de longitudes seleccionado, buscaremos hélices con un valor de paso no muy elevado, algo inferior a la mitad de la longitud total de la hélice.

Buscando una uniformidad en el dron se ha decidido apostar por la marca DJI. Apostando por unas Hélices Matrice 30 series DJI 1671, Figura 5.3. Son hélices de 406 mm de diámetro y 190 mm de paso, con un peso de 10 gramos cada hélice y con un precio de 33 € por cada par de hélices [19].



Figura 5.3: Hélices Matrice 30 series DJI 1671 [19]

5.2.4. Batería

Las baterías LiPo se ensamblan utilizando celdas rectangulares que están conectadas para producir un cierto voltaje. Una celda representa alrededor de 3,6V; 2 celdas, 7,2 V y así sucesivamente. La cantidad de celdas para un dron estándar estará determinada por el tamaño y el diseño del compartimiento de la batería.

Se debe seleccionar una batería con el número de celdas en serie necesario para maximizar la eficiencia de los motores, y suficientes en paralelo para proporcionar un ratio de descarga y un tiempo de vuelo adecuado, teniendo en cuenta que cuantas más celdas, mayor será el peso de la batería. Para el motor escogido, el DJI 2212-920, una batería con 4S y 1P maximiza la eficiencia del motor y consigue una autonomía superior a los 20 minutos [17].



Figura 5.4: Zeee 4S Lipo - Batería de 6000 mAh 14.8 V 100 C [20]

La batería elegida es una Zeee 4S Lipo - Batería de 6000 mAh 14.8 V 100 C, Figura

5.4, con un precio de 102 € y un peso de 171 gramos por cada celda de batería [20]. Incluye un cargador de 3 A, por lo que su tiempo de carga completo será de 2 horas, lo que influirá en su implementación, tema que se tratará en el Capítulo 9.

5.2.5. Controlador de vuelo

En lo relativo a controladores de vuelo, lo más económico sería realizar un controlador específico programado por el propio usuario para realizar todas las funciones que este necesite. Pero al tratarse de un proyecto en el que se comprarán varios drones, con varios controladores de vuelo y con intención de aplicarse en varias localidades, se optará por un controlador de vuelo comercial con funciones predefinidas de fábrica. Aunque sería interesante programar el controlador de vuelo para proyectos futuros, existen softwares como *Ardupilot* con los que se han conseguido drones con capacidades mayores a las que se pueden obtener de fábrica.

La gama de controladores es enorme y sus características cumplen un abanico grande de operaciones. Ergo para el dron, para facilitar su implementación, se usará algún controlador que ya esté probado en el mercado y ofrezca las operaciones necesarias con un precio no muy elevado.

Se ha llevado a cabo un análisis del mercado de varios controladores de vuelo distintos. Tras estudiar una amplia gama de modelos, se ha elegido el Controlador DJI FPV, Figura 5.5. Sencillo pero con capacidad de llevar a cabo todas las operaciones de la misión, tanto de aportar estabilidad al dron, como de volar sin excesivas vibraciones [21].

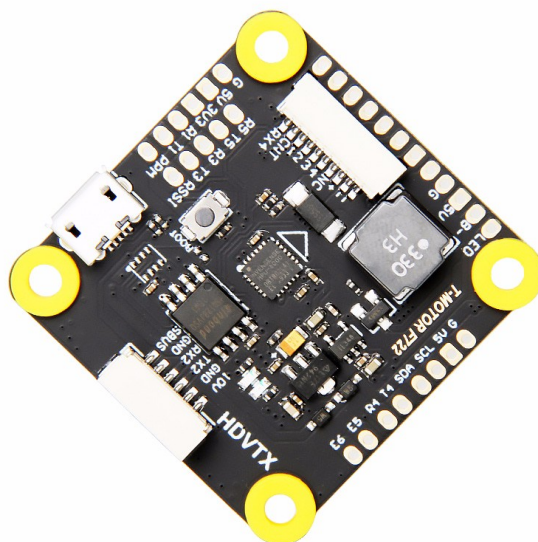


Figura 5.5: Controlador DJI FPV [21]

Con un precio de 69 €, se trata de uno de los mejores controladores del mercado en relación calidad precio, lo que lo convierte en el indicado para este proyecto. Tiene un peso de 20 gramos [21], lo que no supondrá un problema para el desempeño de

la misión, pero se empleará para el cálculo final del peso del dron.

5.2.6. Mando

El mando que se empleará para la misión del dron debe ser sencillo y barato, para no aumentar demasiado los costes del proyecto. Sería interesante optar por un mando simple e intuitivo para que el dron pudiera ser conducido por cualquier persona, independientemente de su experiencia con los drones, pero en el Capítulo 8 se explicará porque no será necesario.

Al tener que funcionar en zonas remotas será importante que el mando lleve una pantalla incorporada, para facilitar la función del operador, que tendría sino dificultades siguiendo la ruta de la misión. Esto implicará que el mando escogido será más caro, pero es necesario.



Figura 5.6: Control inteligente DJI RC PRO [22]

El mando escogido será el DJI RC PRO, Figura 5.6, mando con pantalla de vidrio y un alcance superior a los 2 kilómetros, con un coste de 122,50 € [22].

5.2.7. Cámara

Dentro de la industria de los drones existe un amplio rango de tamaños, precios y calidad de las cámaras. La función de la cámara del dron será aportar imagen a la pantalla del Control inteligente DJI RC PRO, por lo que no será necesario una cámara con una gran calidad, sino que nos fijaremos más en su coste y que no exceda 200 gramos, como se restringió en la sección 5.



Figura 5.7: Cámara Firefly Q6 [23]

Se ha decidido escoger la cámara Firefly Q6, Figura 5.7 con un precio de 57,20 € y un peso de 41 gramos [23], significativamente inferior a los 200 gramos que se estipularon al comienzo del diseño como máximo.

5.2.8. Armazón

A través del programa de diseño *SolidWorks* se ha diseñado el armazón del dron, como puede observarse en la Figura 5.8, con los principales objetivos de que sea ligero y de un tamaño reducido, pero permitiendo la distancia suficiente entre hélices para que su giro no influya significativamente en el empuje que aportará cada una de ellas, como se verá en profundidad en su *análisis aerodinámico*. También se realizará un *análisis estructural* para comprobar que el diseño no presentará deformaciones o fracturas durante la realización de la misión.



Figura 5.8: Diseño 3D del dron

El armazón constará de:

- Cuatro barras de fibra de carbono con un diámetro 5 mm y una longitud de 200 mm, que actuarán como los brazos del dron.
- Cuatro barras de fibra de carbono con un diámetro 5 mm y una longitud de 250 mm, que actuarán como un soporte en el que se apoyará el dron, las dos barras en contacto con el suelo contarán con recubrimientos de espuma para reducir el impacto en los aterrizajes.
- Ocho refuerzos de plástico ABS, realizados por impresión 3D para las barras.
- Cuatro refuerzos de plástico ABS, realizados por impresión 3D para los motores.
- Cuatro placas de fibra de carbono, entre las dos de mayor tamaño se encontrarán situados la mayoría de componentes del dron, la tercera servirá de soporte para la cámara y la cuarta servirá de enganche para la muleta o el soporte de medicamentos.

En el Capítulo 7, se explicará más en detalle las distintas partes que componen este armazón, que tendrá un peso total de 150 gramos y un precio de 32,70 € [24].

Análisis estructural

Otro aspecto a tener en cuenta durante el diseño del armazón es su comportamiento ante las cargas que soportará durante la misión. Motivo por el cual se realizó el análisis estructural del armazón en las condiciones de máxima carga posible a la que estará sometido el dron, es decir, con los motores girando a máximas revoluciones por minuto y cargando un kilogramo de medicamentos. Para realizar dicho análisis se ha empleado el software *Ansys*, especializado en análisis y simulación por elementos finitos.

Los resultados obtenidos indican que la máxima deformación que presentará el dron será en las barras de fibra de carbono de los brazos. Como puede observarse en la Figura 5.9, la deformación máxima de los brazos será de 1,728 milímetros y se presentará en el extremo exterior de la barra.

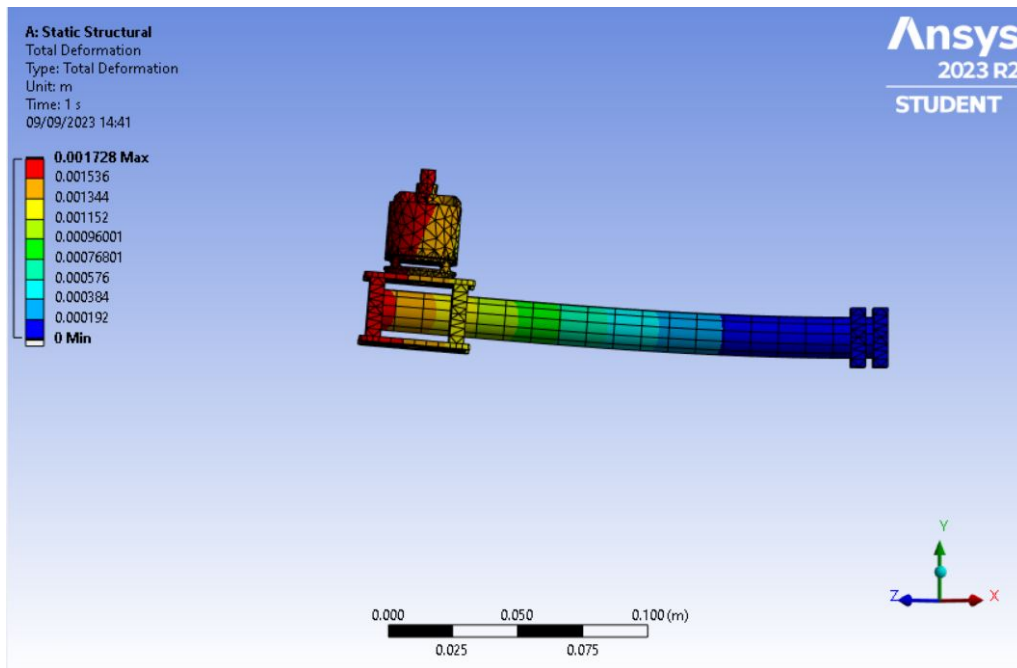


Figura 5.9: Deformación del brazo del dron con carga máxima

La deformación será tolerable en comparación con el tamaño total del dron. En la Figura 5.10 puede observarse que la tensión máxima que soportará será inferior a 25 MPa, mientras que el límite elástico de la fibra de carbono es de 3 GPa, esto implica que será una deformación elástica que se dará en circunstancias poco habituales durante la misión del dron, por lo que no supondrá un inconveniente durante la misión del dron.

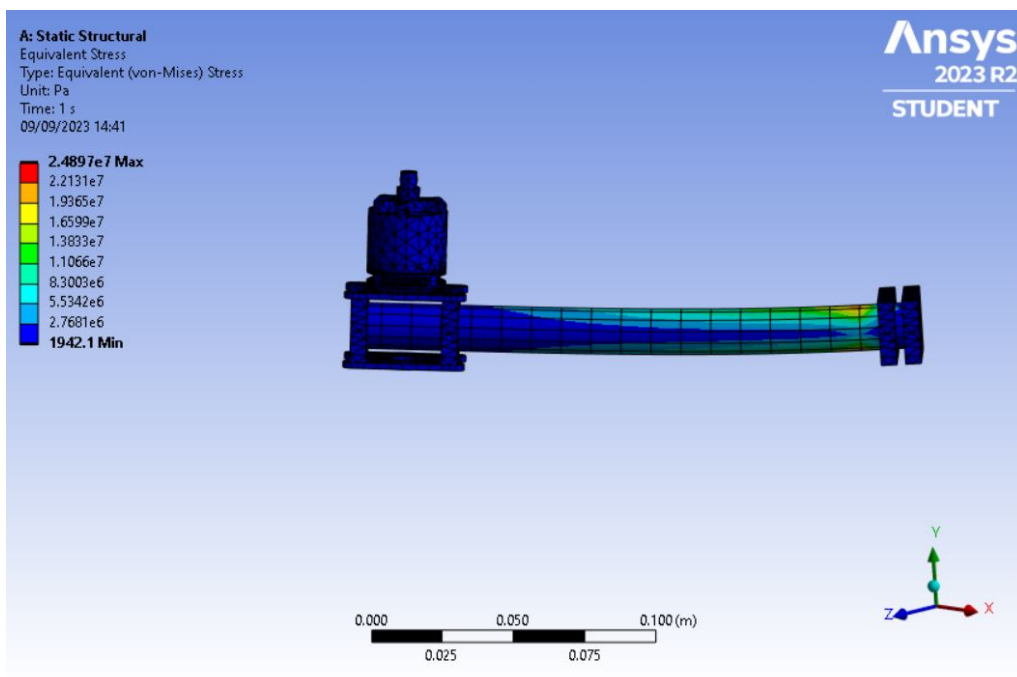


Figura 5.10: Tensión en el brazo del dron con carga máxima

Análisis aerodinámico

La distancia entre las hélices del dron será un punto a tener en cuenta durante el diseño del armazón. La eficiencia del dron disminuirá si las hélices están muy cerca debido a las interacciones de las estelas de los rotores cercanos. Estas interacciones causan que las características de las estelas se distorsionen, pierdan su forma coherente y se desvíen de sus trayectorias típicas, como puede observarse en la Figura 5.11. Esto aumenta la resistencia del flujo de aire y disminuye la eficiencia de los rotores. Además, existen estudios [25] que sugieren que la interacción de las puntas de las hélices con las vórtices de las puntas de las hélices de los rotores cercanos también puede ser una razón detrás de la disminución de la eficiencia.

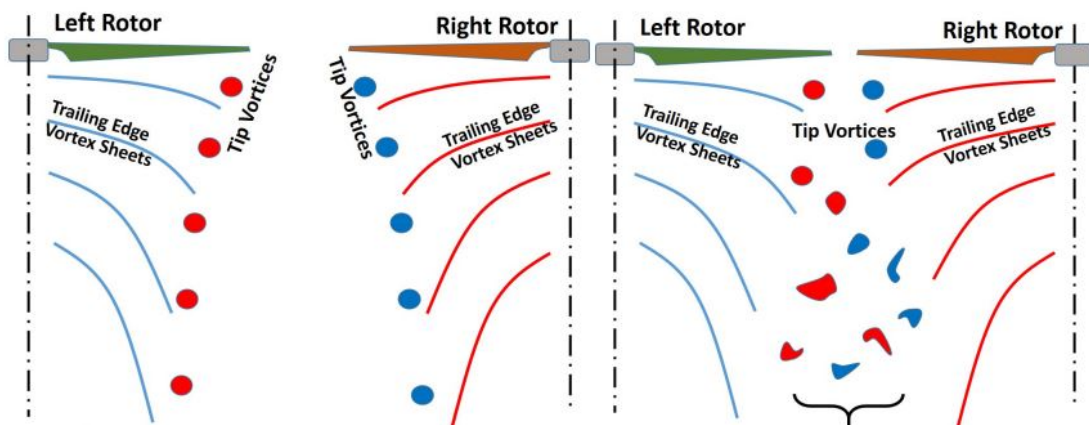


Figura 5.11: Influencia de la distancia entre los ejes de las hélices [25]

Para el diseño del dron se ha optado por una distancia entre los ejes de las hélices de $3/2$ su radio, para disminuir lo máximo posible este efecto negativo sin influir demasiado en el tamaño y peso del dron. Estudios recientes [25] demuestran que a partir de una distancia de dos veces el radio de la hélice apenas tendrá influencia en el rendimiento del dron.

5.2.9. Soporte para medicamentos

Se ha establecido que el objeto sanitario más pesado que portará el dron será una muleta, pero será necesario algún tipo de soporte para poder cargar medicamentos, por lo que mediante el programa de diseño *SolidWorks* se ha diseñado una caja para poder portarlos, como puede observarse en la Figura 5.12.

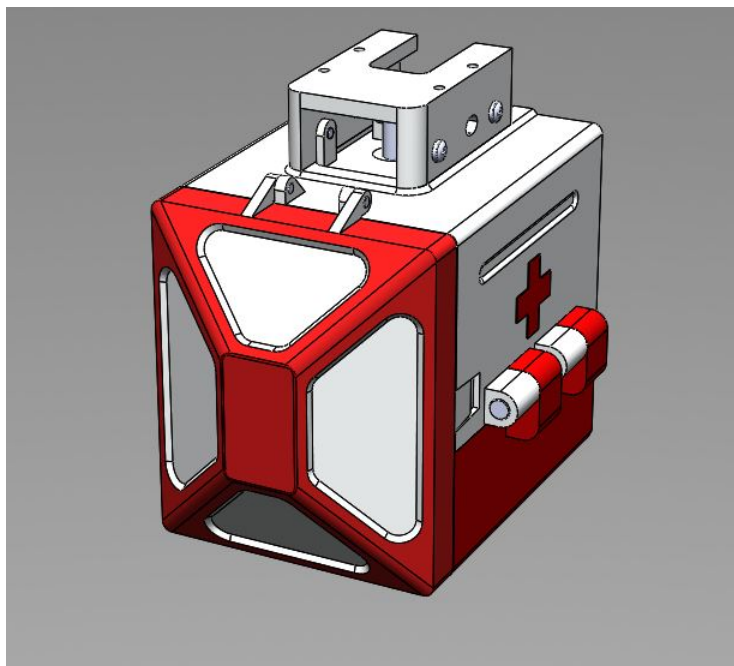


Figura 5.12: Diseño 3D del soporte para medicamentos

Se tratará de una caja plástica con unas medidas de 300 x 200 x 250 milímetros y un peso de 200 gramos, aunque no será relevante pues el peso de la caja con los medicamentos será siempre inferior al kilogramo que pesará la muleta. Con un precio de 7,5 € por caja [26], lo que no supondrá un amplio gasto.

5.3. Peso

Al comienzo del capítulo 5 se estipuló como peso máximo para el vuelo del dron 3 kilos, contando el peso de los componentes, del armazón, de la cámara y de una carga máxima para material sanitario de 1 kilo.

Componente	Peso unitario [gramos]	Cantidad	Peso [gramos]
Motor	205	4	820
Variador de potencia	8	1	8
Hélices	10	8	80
Celdas de batería	171	4	684
Controlador de vuelo	20	1	20

Tabla 5.2: Peso componentes del dron

Sumando los pesos de la tabla 5.2, se puede observar que el peso total de los componentes del dron es de 1612 gramos, cumpliendo por ahora las restricciones impuestas de peso.

Peso componentes	1612 gramos
Armazón	150 gramos
Cámara	41 gramos
Carga médica máxima	1000 gramos
Peso total	2803 gramos

Tabla 5.3: Peso del dron

Realizando la suma del peso de todos los constituyentes del dron obtenemos un peso de 2803 gramos, como podemos observar en la tabla 5.3, por debajo de los 3000 gramos que se habían establecido como restricción para la elección de los componentes. Ya con el peso total del dron, en el Capítulo 6.1 se mostrarán los cálculos realizados para la elección de los componentes, demostrando así su capacidad de vuelo y calculando sus características principales.

Capítulo 6

Rendimiento del dron

6.1. Simulación en eCALC

Para el cálculo de las características del dron, se ha empleado el software *eCalc*. Se trata de un sistema que simula, calcula y evaluar sistemas de accionamiento de motores eléctricos brushless para pilotos de aeromodelismo RC de aviones, multirrotores y todo tipo de vehículos aéreos no tripulados. Ha sido el software seleccionado, por delante de otros como *QGroundControl* o *DroneDeploy*, por su base de datos de motores, la más completa que existe actualmente.

General	Peso del modelo: 3000 g con Motorización 105.8 oz	Nº de rotores: 4 simple	Tamaño del armazon: 600 mm 23.62 inch	Límite de inclinación de la FCU: sin límite	Altura del campo de la FCU: 500 m ASL 1640 ft ASL	Temp. aire: 25 °C 77 °F	Presion (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg	
Celdas batería	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 6000mAh - 80/120C - llena	Configuración: 4 S 1 P	Capacidad por celda: 6000 mAh 6000 mAh total	descarga max: 85%	Resistencia: 0.0022 Ohm	Voltaje: 3.7 V	capacidad C de descarga: 80 C continua 120 C de pico	Peso: 171 g 6 oz
Variador	Tipo: max 20A	Corriente: 20 A cont. 20 A max.	Resistencia: 0.01 Ohm	Peso: 25 g 0.9 oz	Accesorios	Consumo de corriente: 0 A	Peso: 0 g 0 oz	
Motor	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: (r = descatagado) DJI - 4216-310 (310) - excelente	KV (w/o torque): 310 rpm/V	Corriente sin hélice: 0.6 A @ 10 V	Límite (hasta 15s): 700 W	Resistencia: 0.083 Ohm	Longitud caja: 42 mm 1.65 inch	nº Polos mag.: 14	Peso: 205 g 7.2 oz
Hélice	Tipo de hélice: DJI - 0°	Diámetro: 15.98 inch 406 mm	Paso: 7.09 inch 180 mm	número de palas: 2	Const de Potencia/Empuje: 1.10 / 1.0	Gear Ratio: 1 : 1	<input type="button" value="Calcular"/>	

Figura 6.1: Configuración del dron introducida para el cálculo en eCalc, con una estimación del peso

Para la elección de los componentes se realizó un estudio con la restricción de peso máximo de 3000 gramos, con la configuración mostrada en la Ilustración 6.1, obteniendo los resultados mostrados en la Ilustración 6.2.

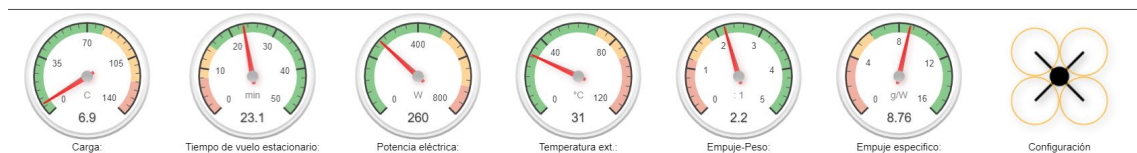


Figura 6.2: Resultados de la simulación en eCalc, con una estimación del peso

Antes de realizar la discusión de los resultados será interesante realizar la misma simulación con el peso final del dron del proyecto, pues con menos peso mejorará su rendimiento. Esta simulación mostrará un resultado esperable al llevado a cabo durante la misión.

General	Peso del modelo: 2803 g con Motorización 98.9 oz	Nº de rotadores: 4 simple	Tamaño del armazón: 600 mm 23.62 inch	Límite de inclinación de la FCU: sin límite	Altura del campo de la ASL: 500 m ASL 1640 ft ASL	Temp. aire: 25 °C 77 °F	Presión (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg	
Celdas batería	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 6000mAh - 80/120C - llena	Configuración: 4 S 1 P	Capacidad por celda: 6000 mAh 6000 mAh total	descarga max.: 85%	Resistencia: 0.0022 Ohm	Voltaje: 3.7 V	capacidad C de descarga: 80 C continua 120 C de pico	Peso: 171 g 6 oz
Variador	Tipo: max 20A	Corriente: 20 A cont. 20 A max.	Resistencia: 0.01 Ohm	Peso: 25 g 0.9 oz	Accesorios	Consumo de corriente: 0 A	Peso: 0 g 0 oz	
Motor	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: (F = descatálogo) DJI - 4216-310 (310) - excelente	KV (w/o torque): 310 rpm/V	Corriente sin hélice: 0.6 A @ 10 V	Límite (hasta 15s): 700 W	Resistencia: 0.083 Ohm	Longitud caja: 42 mm 1.65 inch	nº Polos mag.: 14	Peso: 205 g 7.2 oz
Hélice	Tipo de hélice: DJI - 0°	Díámetro: 15.98 inch 406 mm	Paso: 7.09 inch 180 mm	número de palas: 2	Const. de Potencia/Empuje: 1.10 / 1.0	Gear Ratio: 1 : 1	<input type="button" value="Calcular"/>	

Figura 6.3: Configuración del dron introducida para el cálculo en eCalc

Con la configuración mostrada en la Figura 6.3 se obtienen resultados más óptimos que con la restricción de peso, como puede comprobarse comparando la Figura 6.4 y la Figura 6.2. Se analizarán los resultados en la sección 6.2

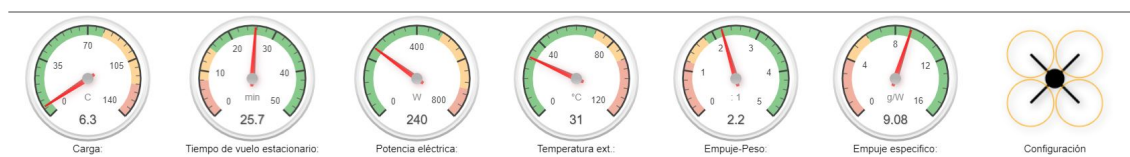


Figura 6.4: Resultados de la simulación en eCalc

6.2. Análisis de los resultados

Al inicio de este proyecto se buscaba un dron con una capacidad de carga máxima de 1200 gramos, con una amplia autonomía, económico y estandarizable. En el presente capítulo analizaremos estos dos primeros aspectos, mientras que su coste será tratado en el Capítulo 10 y su capacidad para ser estandarizable ha sido demostrada en la sección 5.2 al escoger componentes de las marcas más vendidas actualmente como *DJI* o *Spyder*.

En la Figura 6.4, puede observarse que su relación empuje-peso es 2,2, lo que implica que el dron será capaz de levantar su peso junto con la carga máxima estipulada de 1200 gramos, como se explicó en la Sección 5.2.1 con la Ecuación 5.1.

En cuanto a su autonomía, se puede comprobar en la Figura 6.4 que es superior a los 25 minutos, con un tiempo de carga completa de 2 horas. Comparando esta cifra con las observadas en los mejores drones comerciales actuales, en la Sección 4.2, puede observarse que se encuentra a menos de 18 minutos del DJI Mavic 3 Pro, el dron comercial con mejor autonomía actualmente, sin restricciones de capacidad de carga como en el proyecto actual, por lo que podría concluirse que en ambos aspectos el resultado es satisfactorio para poder continuar con el desarrollo del sistema.

También puede observarse en la Figura 6.4 resultados satisfactorios en cuanto a la temperatura del dron, evitando el sobrecalentamiento, con una temperatura máxima de 31°C. El empuje específico, que representa la eficiencia con la que el dron puede generar empuje en relación a su consumo de energía, se encuentra en un rango de valores óptimos con un valor de más de 9 g/W.

También es posible observar en los gráficos del Apéndice, que la velocidad máxima del dron será de 47 km/h , Figura A.3, el rango operativo del dron será algo inferior a 5,5 kilómetros y el alcance máximo será cercano a los 14 kilómetros, será obtenible con un rango de velocidades cercano a los 33 km/h , Figura A.1.

Capítulo 7

Diseño 3D del dron

Para el diseño 3D del dron se ha empleado *SolidWorks*, un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D. Se ha realizado un diseño centrado en reducir el peso del dron al máximo y que fuera posible de realizar todo con impresión 3D en caso de no encontrar un proveedor para todos los constituyentes del armazón.



Figura 7.1: Diseño 3D del proyecto

En la Figura 7.1 puede observarse como funciona la unión del dron al soporte de medicamentos, siendo este de un tamaño ideal para el funcionamiento del dron, aprovechándose al máximo el espacio entre las 2 patas de apoyo. En la Figura 7.2 puede observarse los planos 2D del dron.

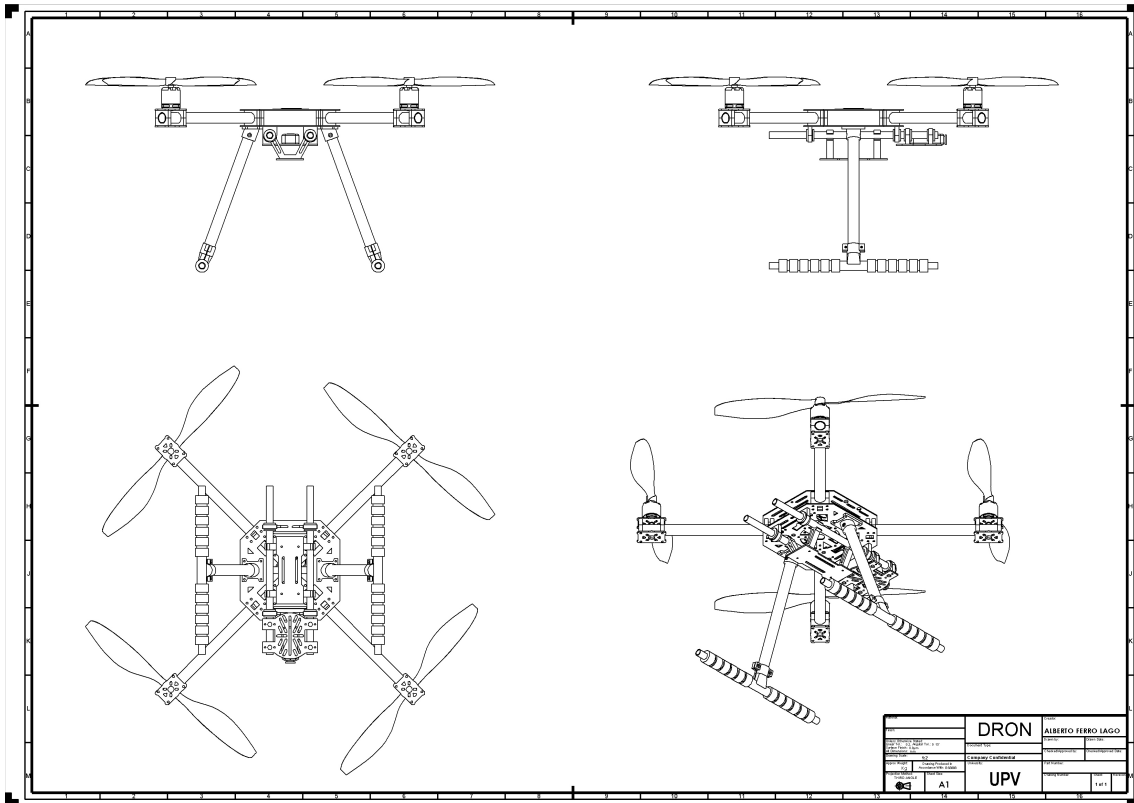


Figura 7.2: Planos del dron

Capítulo 8

Legislación actual

La legislación española relacionada con drones ha experimentado una evolución significativa en los últimos años debido al crecimiento constante. En España, la normativa que regula la operación y el uso de drones se encuentra en constante actualización para garantizar la seguridad de la aviación civil y la privacidad de los ciudadanos, al mismo tiempo que fomenta el desarrollo y la innovación en este sector. La principal normativa se recoge en los siguientes decretos, reglamentos y comunicados:

- Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.
- El Reglamento de Ejecución (UE) 2019/947 de la Comisión de 24 de mayo de 2019 relativo a las normas y los procedimientos aplicables a la utilización de aeronaves no tripuladas.
- La Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones “Una estrategia de drones 2.0 para un ecosistema de aviones no tripulados inteligente y sostenible en Europa” [COM (2022) 652 final], de 29 de noviembre de 2022.
- El Real Decreto 1180/2018, de 21 de septiembre, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y se modifican el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea, el Real Decreto 862/2009, de 14 de mayo, por el que se aprueban las normas técnicas de diseño y operación de aeródromos de uso público.

En España, la supervisión y regulación de las operaciones con drones se encuentra bajo la jurisdicción de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) y está en concordancia con las directrices establecidas por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) [27]. Independientemente del modelo de dron que a operar, existe una regulación general que se aplica a todas las aeronaves no tripuladas, independientemente de sus características particulares.

- El dron siempre debe mantenerse al alcance de la vista del piloto.

- No sobrevolar zonas de uso restringido.
- No volar a menos de 8 km de ningún aeropuerto.
- No volar en zonas protegidas como Parques Nacionales o Reservas de la Biosfera.
- No sobrepasar los 120 m de altura en vuelo.
- Proteger el derecho a la intimidad de las personas captadas por el dron, y no divulgar imágenes que vulneren la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.
- Llevar una placa ignífuga identificativa fijada en la estructura que contendrá datos como el nombre del fabricante, el modelo, número de serie y los datos de contacto del piloto.

Hasta el 31 de diciembre de 2020 [27], la mayoría de los drones recreativos que pesaban menos de 250 gramos no estaban sujetos a una regulación específica, más allá de las instrucciones del manual y las restricciones mencionadas previamente. Sin embargo, en la actualidad, esta situación ha cambiado, y únicamente los drones clasificados como juguetes están exentos de trámites burocráticos. Para los demás drones, se requiere al menos la realización de un examen adaptado a la categoría de la aeronave no tripulada.

Los drones que reciben la clasificación de juguetes por parte del fabricante son los únicos que quedan exentos de trámites adicionales. Algunos de los criterios para considerar un dron como juguete incluyen:

- Peso inferior a 250 gramos al despegar (MTOM).
- Energía cinética de menos de 80 julios a la velocidad máxima alcanzada, como es el caso de los drones de carreras.
- Si el dron está equipado con un sensor capaz de capturar datos personales, debe cumplir con la Directiva 2009/48/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2009, sobre la seguridad de los juguetes.

Los drones que no cumplen esta clasificación, como el dron de este proyecto, tendrán una legalidad diferente en función de su peso, si es mayor o no de 250 gramos, el tipo de vuelo que se vaya a realizar. Como se puede observar en la Figura 8.1 esta clasificación se divide en abierta, específica y certificada y va de menor a mayor complejidad[27].



Figura 8.1: Clasificación de los tipos de vuelo

En este proyecto el dron pesa más de 250 gramos y el tipo de vuelo será certificado, pues transporta mercancías sobre zonas pobladas, por lo que de acuerdo con el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea [27]:

- El piloto debe estar registrado como operador de drones en AESA.
- Superar un curso de piloto de UAS de nivel A3, que constará con los siguientes requisitos:
 - Familiarizarse con el manual de usuario del fabricante.
 - Completar un examen online.
 - Superar un examen teórico online.
- Poseer una póliza de seguro que cubra la responsabilidad civil frente a terceros.
- El dron deberá llevar una placa identificativa fijada en la estructura que contendrá datos como:
 - Modelo
 - N^o de serie
 - Fabricante
 - Datos del piloto
- Cumplir la normativa general de drones.

Además de las restricciones legales que deberá cumplir el vuelo y el piloto es importante tener en cuenta la ruta de vuelo, pues esta no podrá incluir las zonas prohibidas mostradas en la Figura 8.2, como aeropuertos, helipuertos, bases militares, parques naturales y sus alrededores [28]. Se tratan de zonas restringidas para el vuelo por Enaire, la entidad pública empresarial de España responsable de la

gestión de la navegación aérea.

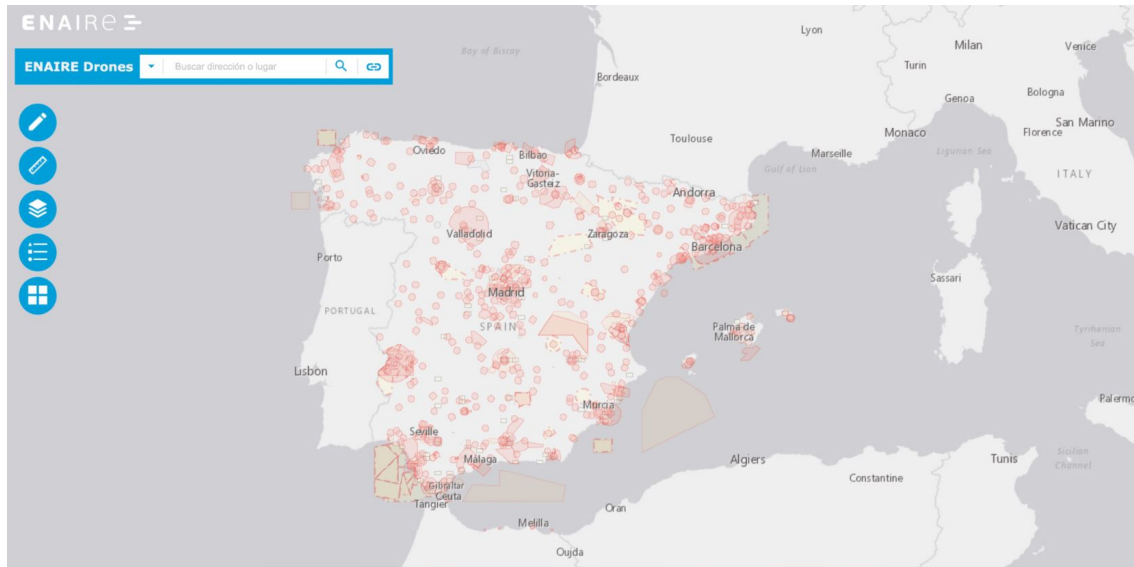


Figura 8.2: Zonas restringidas para el vuelo [28]

Cumpliendo estos requisitos se podrá operar el dron realizando la misión del proyecto, en el apartado de implementación se tratarán las legislación actual respecto a la implementación de un dron en el sector sanitario.

Capítulo 9

Implementación

La implementación exitosa de drones de reparto de medicamentos en el sector sanitario requiere una planificación meticulosa y colaboración entre diversas partes interesadas. En primer lugar, se debe establecer una infraestructura adecuada que incluya estaciones de despegue de drones en ubicaciones estratégicas, como hospitales y centros de atención médica. Estas estaciones deben estar equipadas con repuestos para el dron, tecnología de carga y descarga eficiente y sistemas de gestión de tráfico aéreo no tripulado para garantizar un flujo seguro y ordenado de las operaciones. Adicionalmente, la persona que recibirá los medicamentos debe habilitar una plataforma de aterrizaje.

Finalmente, se necesita una coordinación estrecha con las autoridades regulatorias para obtener las aprobaciones y permisos necesarios. Esto implica cumplir con regulaciones de seguridad aérea y privacidad de datos, tratados en el apartado 8, así como abordar preocupaciones sobre la gestión de riesgos y la protección de la información médica sensible. También es esencial establecer protocolos de seguridad y procedimientos de emergencia en caso de fallos técnicos o incidentes inesperados. La capacitación adecuada del personal y la integración de sistemas de monitoreo y seguimiento en tiempo real son fundamentales para garantizar la eficiencia y la seguridad de las entregas de medicamentos.

9.1. Posibles escenarios

Uno de los aspectos que se tuvo en cuenta durante el diseño del dron fue su tamaño. Este reducido tamaño permitirá que la trayectoria del dron sea entre zonas estrechas, por las que no puede pasar un humano, pero también permitirá transportarlo en ambulancia en caso de ser necesario. Con este sistema de reparto no se busca eliminar el método tradicional de reparto, sino complementarlo, aportando otras opciones para aquellos casos en zonas que sean de difícil acceso o no se pueda acceder por carretera.

El caso ideal serán trayectos en los que el dron vuele directamente desde el hospital o el centro sanitario a la zona de entrega, como el presentado en el caso Figura 9.1A, pero tendrá que ser a una distancia de menos de 5,5 kilómetros, porque superaría el rango máximo de funcionamiento del dron y el trayecto a realizar por el dron no puede superar los 14 kilómetros, que es su máximo alcance, como se observó en el Capítulo 6.2.

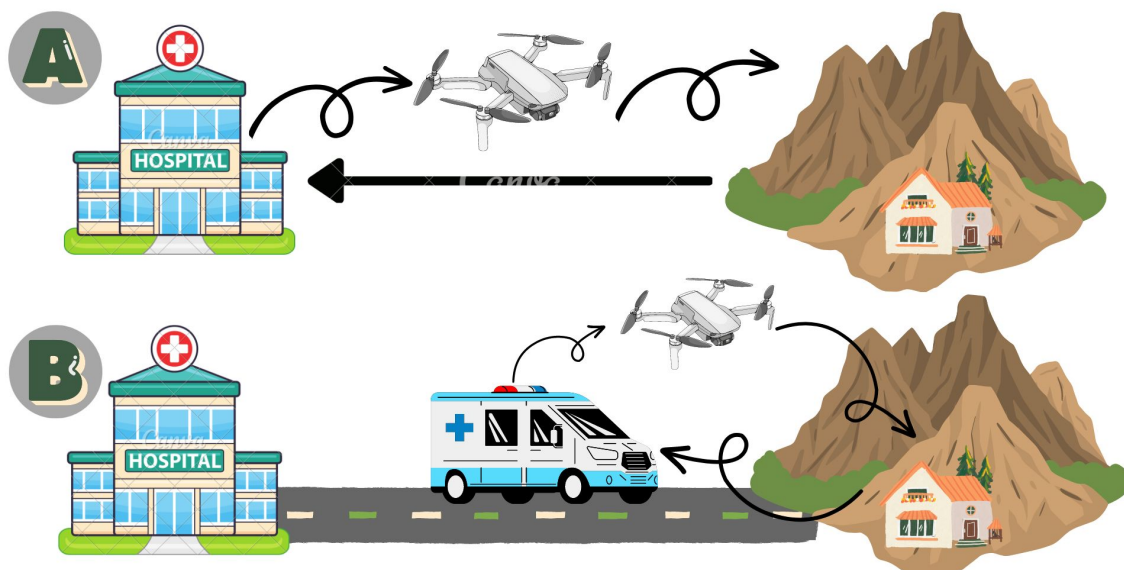


Figura 9.1: Posibles escenarios para el uso del sistema

Existirán casos en los que la distancia a la zona de entrega sea superior a los 5,5 kilómetros, superando así el rango máximo del dron, por lo que este deberá ser transportado a una menor distancia para poder operar o optar por el método tradicional. También se puede dar el caso de que existan buenas conexiones por carretera durante gran parte del trayecto hasta un determinado punto, por lo que se podría optar por transportar el dron en ambulancia hasta ese lugar determinado y operarlo hasta la zona de entrega, como en la Figura 9.1B.

Finalmente, cabe destacar que habrá casos donde el uso de este sistema no será útil o práctico, por lo que se optará por otros métodos de entrega, como se ha explicado al principio de este capítulo, el objetivo de este sistema no es eliminar el método de entrega actual, sino complementarlo y optimizarlo a través de este sistema.

9.2. Duración de las misiones

Estudiando los datos obtenidos de la sección 6.2, se puede concluir que no será posible realizar viajes constantes con el dron, pues por cada 25 minutos de funcionamiento necesitará 2 horas de carga. Por lo que durante una jornada laboral de 8 horas el dron podrá realizar un total de 4 descargas completas y estará en funcionamiento un máximo de 2 horas.

Se ha descartado el uso de una batería extra, que permitiría más descargas completas del dron y estar en funcionamiento durante más tiempo, pues supondrá 102 € adicionales por cada dron y para conseguir una mejora significativa el dron debería estar regresando constantemente al hospital. Por lo tanto, aunque en un escenario ideal ayudaría a mejorar significativamente el sistema de distribución, en la práctica no será necesario que su uso sea tan continuado, recordemos que es un dron especializado para llevar medicamentos a zonas remotas. Aún así, para casos concretos en

los que se necesiten más horas de uso se podrá tener más baterías, que se tendrán en cuenta en el cálculo del coste de los repuestos en la sección 9.3.2.

9.3. Infraestructura

9.3.1. Plataforma de despegue

Siempre que sea posible, será interesante que los centros de salud incorporen una plataforma de despegue de drones, asegurándose así un espacio destinado a un despegue seguro y controlado del operativo, aunque serviría un espacio amplio y nivelado de 4 metros cuadrados. En caso de ser necesaria, la plataforma elegida será la mostrada en la Figura 9.2, con un precio de 21€ [29] y la posibilidad de ser guardada reduciendo su tamaño, lo que posibilitará que sea cargada en ambulancias, permitiendo el despegue del dron desde cualquier lugar.



Figura 9.2: Plataforma de despegue [29]

9.3.2. Repuestos

Con el fin de mantener la operación del dron intacta en caso de daño a algún componente, será importante poseer recambios de los principales componentes, tales como baterías, hélices, motores o brazos. Al ser un sistema que se implantará en diversas localizaciones, se podrá poseer diferentes repuestos en varios centros de salud, por lo que para el cálculo del coste de los repuestos de los drones, se computará un 20 % del precio de cada dron.

9.3.3. Carga del dron

Tras cada misión el dron debe ser cargado, pues posee una autonomía de 25 minutos. Será necesario poseer una infraestructura suficiente en los hospitales para su carga. Para futuros proyectos será interesante el diseño de estaciones de recarga en áreas donde permitan conseguir una mayor distancia.

Actualmente, el precio de la electricidad se encuentra a 0.2 €/kWh [30]. Para una baterías de 6000 mAh como la del dron, significará que el precio de cada carga completa es de 0,01776 €. Por lo que realizar las 4 cargas diarias supondrá 0,07104 €, lo que al año supondrá 19,89 €.

9.3.4. Sistemas de gestión de tráfico aéreo

Para la gestión del vuelo de distintos drones, estos se registrarán en la plataforma UTM, un sistema centralizado que proporciona una vista en tiempo real del espacio aéreo ocupado por drones. Permite el seguimiento y la gestión de drones en vuelo y coordina las operaciones entre múltiples partes interesadas.

9.3.5. Plataforma de aterrizaje

La persona que recibirá los medicamentos debe habilitar una plataforma de aterrizaje o en su defecto un área amplia con el terreno nivelado, sin hierbas altas y despejada, preferiblemente lejos de otras personas, vehículos u obstáculos. Para aterrizar el dron del proyecto, con un armazón de 600 milímetros, sería adecuada un área de al menos 4 metros cuadrados para permitir un aterrizaje seguro y espacio para maniobrar.

9.3.6. Piloto

Para la implantación de este sistema será necesario un piloto que sea capaz de manejar el dron cumpliendo una ruta segura y efectiva. Este piloto deberá cumplir los requisitos legales expuestos en el Capítulo 8.

Se realizarán 2 horas máximas de vuelo con el dron durante la jornada laboral, aunque habrá casos donde serán necesarias más y otros donde no harán falta tantas, por eso se cogerán esas 2 horas como valor medio. Para el puesto de piloto durante esas 2 horas se contratará una persona para el sector sanitario que cumpla los requisitos expuestos en el Capítulo 8, por ejemplo, un conductor de ambulancia que cumpla también esos requisitos y forme parte del sector o se incentivará a miembros del sector con mejoras en su salario.

Sea cual sea el tipo de contratación a realizar, se tomará en cuenta para el cálculo del coste de la misión el sueldo del piloto durante las 2 horas que lo pilote. Revisando diferentes portales de empleo, puede observarse que el sueldo de un piloto de drones, sin necesidad de aportar su dron, es de 30 €/hora [31], por lo que será un gasto de 60 € netos diarios, lo que serían unos 16.000 € netos anuales, cerca de 20.000 € brutos anuales.

Capítulo 10

Costes

Para calcular el coste de implantación del sistema, se estudiará en primera instancia el coste unitario de fabricar cada dron en la sección 10.1 y posteriormente en la sección 10.2 el coste total del sistema, incluyendo el coste del personal que lo pilotará, el coste energético y su coste de implementación. Finalmente en la sección 11, se comparará su coste con el de otros sistemas de entrega de medicamentos.

10.1. Coste unitario

En el Capítulo 5.2 uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño del dron fue su coste, pues es un sistema que se pretende introducir en el sector sanitario público, por lo que su coste no puede ser excesivamente elevado.

Componente	Coste unitario [€]	Cantidad	Coste [€]
Motor	40	4	160
Variador de potencia	15,50	1	15,50
Hélices	8,25	8	66
Batería	102	1	102
Controlador de vuelo	69	1	69
Mando	122,50	1	122,50
Cámara	57,20	1	57,20
Armazón	32,70	1	32,70
Soporte de medicamentos	7,50	1	7,50

Tabla 10.1: Coste componentes del dron

Como puede calcularse a partir de lo mostrado en la Tabla 10.1, el coste total de fabricación del dron es de 632,40 €, inferior al precio de otros drones de carga, como el DJI S900 de 990 € o los 2950 € del Vulcan UAV Airlift [6], mencionados en el Capítulo 4.2.

10.2. Coste de implementación

El coste de implementación del dron se calculará tomando en cuenta todos los costes relacionados con el proyecto, incluyendo tanto la fabricación de los drones, como puede observarse en el capítulo. Aunque sea un sistema que se implementará en varias localidades se tomarán los datos de solo una, durante un período de un año. La vida media de drones con repuestos y un buen cuidado será de 4 años, por lo que para el cálculo del coste del dron se tomará su amortización anual.

Gasto	Coste anual [€]
Amortización del dron	158,1
Repuestos	126,50
Electricidad	19,89
Plataforma de despegue	21
Piloto	20.000
Gasto total	20.325,49 €

Tabla 10.2: Coste anual del sistema de reparto

El coste de 20.325,49 € anuales presentado en la Tabla 11.1 puede parecer elevado, por lo que en el Capítulo 11, se realizará una comparativa de este sistema de distribución con el mecanismo de distribución actual, en cuanto a coste y rendimiento.

Capítulo 11

Comparativa con otros sistemas

Para comprobar la utilidad de este sistema será interesante compararlo con un caso real, de un área de difícil accesibilidad. El pueblo de Ascaso, Huesca, en el Valle del Ara, cuenta con 7 habitantes y no es posible acceder a él en coche [32]. Actualmente, desde el centro de salud más cercano, el Bergua López son 14 minutos en coche y otros 30 andando para poder alcanzar el pueblo. Lo que implica que cada vez que se vaya al pueblo supondrá, como mínimo, una hora.

Con el sistema de reparto de este proyecto, el mayor problema de este trayecto, sus carreteras y caminos, que deben adaptarse a la orografía del Valle del Ara, no significarán un problema. Por lo que para el reparto de medicamentos el dron tardaría menos de 6 minutos en realizar el trayecto de 4,5 kilómetros que separa los dos pueblos a sus 47 km/h de velocidad máxima, como se comprobó en el Capítulo 6.2, lo que supondría que en menos de 15 minutos podría realizar la entrega de medicamentos y volver. Al ser una distancia inferior a los 5,5 kilómetros desde el centro de salud y el lugar de la entrega se podrá realizar directamente sin necesidad de que ningún miembro del sector sanitario realice parte del trayecto.

Respecto a los costes, dependiendo del pueblo y de los días que se requieran medicamentos variará, por lo que será necesario estudiar cada caso a detalle y ver si es rentable y útil el uso del sistema. Para poder hacer una estimación se realizará una comparativa de cuanto costaría realizar 4 trayectos diarios entre Ascaso y el Bergua López durante 1 año.

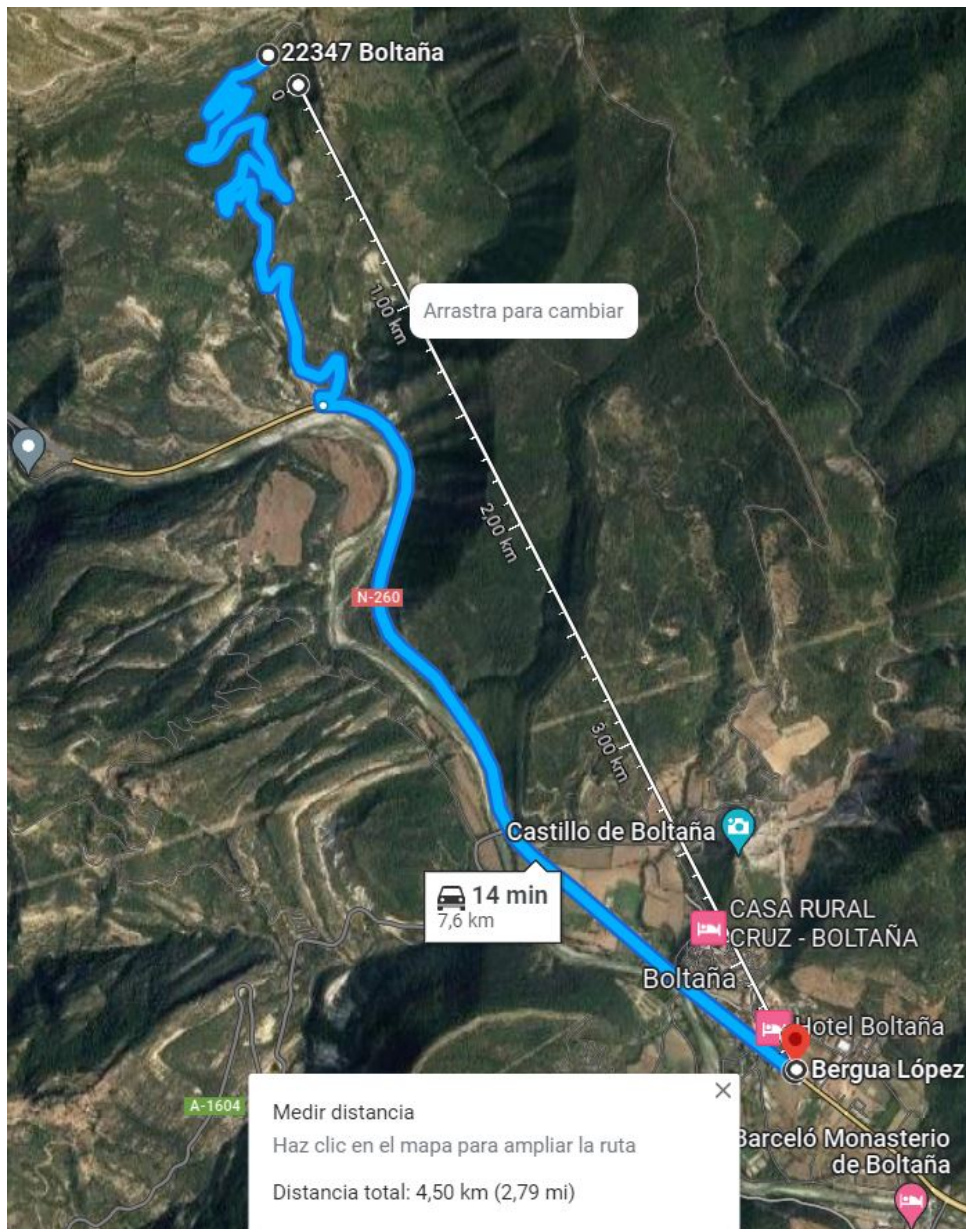


Figura 11.1: Trayecto entre Ascaso y el Bergua López

Como puede observarse en la Figura 11.1, el trayecto por carretera son 7,6 kilómetros, por lo que entre los 4 trayectos de ida y vuelta se harán un total de 60,8 kilómetros diarios, lo que al año supondrá 17.000 kilómetros en este trayecto. Con un precio actual del diésel de 1,7 €/litro [33] y con una ambulancia de un consumo medio de 16 km/litro [34] se obtiene un gasto en combustible anual de 1.800 € en este trayecto. Teniendo las ambulancias un coste medio de 27.000 € [35] y una vida útil máxima por ley de 10 años [35], se debe añadir una amortización anual de 2.700 €.

En realizar los 4 trayectos de hora y media se tardarían unas 6 horas diarias en desplazarse diariamente entre los pueblos, por lo que será necesario contratar a como mínimo una persona para que realice el trayecto, siendo el salario medio de un conductor de ambulancia en España de 26.600 € brutos anuales [36].

Gasto	Coste anual [€]
Combustible	1.800
Amortización ambulancia	2.700
Conductor	26.600
Gasto total	31.100 €

Tabla 11.1: gasto anual del sistema de reparto

En este caso concreto, el uso de este sistema para el reparto de medicamentos supondrá un ahorro de 10.774,51 € y una disminución en el tiempo de entrega del 85 %, realizando los cálculos a partir de la Tabla 11.1. Existirán casos en los que este ahorro será mayor y otros en los que será nulo y deberá descartarse la implementación del sistema, por lo que cada caso debe ser estudiado de forma individual, pero en este capítulo se ha demostrado que es un sistema útil, eficiente y más económico que el tradicional.

Capítulo 12

Presupuesto

En este capítulo, se detallan los costes relacionados con la ejecución del estudio de este proyecto. Los costes presentados abarcan tanto los recursos materiales como los recursos humanos utilizados en su elaboración, utilizando las tarifas vigentes en el momento de la redacción.

Coste	Coste unitario [€/h]	Tiempo [horas]	Coste [€]
Investigación bibliográfica	10	150	1500
Redacción	10	200	2000
Diseño 3D	10	35	300
Cálculos	10	15	150
Revisiones del tutor	30	20	600
Electricidad	0.3	400	120
Ordenador	0.4	400	160

Tabla 12.1: Costes del estudio

Sumando todos los costes de la Tabla 12.1, obtenemos un coste total de 4830 € para la realización del estudio, aplicándole un 21 % de IVA obtenemos un coste total neto de 5844,30 €.

Capítulo 13

Conclusiones

Actualmente, uno de los principales desafíos del sector sanitario es distribuir medicamentos a aquellas zonas con un acceso más complicado o más alejadas de las grandes urbes. Los pacientes de las zonas rurales han de desplazarse una media de 8 km [2] para tener acceso al tratamiento médico considerado básico, e invertir la mayor parte del dinero destinado a cuidar de la propia salud en desplazamientos y estancias. Con la finalidad de paliar dichas desigualdades, este Trabajo Fin de Máster plantea el diseño de un sistema de suministro de medicamentos mediante drones a zonas remotas o de difícil acceso. Uno de los principales objetivos del trabajo era diseñar un dron con una amplia autonomía, capaz de cargar medicamentos hasta el peso de un kilogramo, haciéndolo a su vez un dron estandarizable y de bajo coste. Se ha conseguido una autonomía de más de 25 minutos, cargando el kilogramo de medicamentos, con componentes de las marcas más vendidas del sector y por un precio de 632,40 €, significativamente inferior a otros drones de carga del mercado, como el DJI S900 de 990 € o los 2950 € del Vulcan UAV Airlift [6]. En cuanto a la velocidad máxima del dron es de 47 km/h, el rango operativo es algo inferior a 5,5 kilómetros y el alcance máximo será cercano a los 14 kilómetros. Todos estos resultados fueron obtenidos mediante el software eCalc, un sistema que simula, calcula y evalúa las características de los drones según sus características y las de sus componentes. También se empleó SolidWorks, un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D, para el diseño del armazón centrado en reducir el peso del dron al máximo y con materiales que posibilitaran realizarlo con impresión 3D en caso de no encontrar un proveedor para todos los constituyentes del armazón. Además, se realizó el cálculo estructural del armazón para detectar posibles problemas de fracturas o deformaciones durante la operativa del dron y un estudio aerodinámico para ver si el giro de las hélices suponía una bajada de rendimiento, pero en ambos estudios se comprobó que no existen conflictos significantes.

Respecto a la implementación del sistema, el dron servirá para complementar y optimizar el servicio de distribución actual. Dependiendo de la casuística de la situación será más o menos útil, existiendo casos en los que no convenga emplearlo. Durante una jornada laboral de 8 horas el dron podrá realizar un total de 4 descargas completas y estará en funcionamiento un máximo de 2 horas. El caso ideal para su uso será el vuelo directo entre el hospital o centro de salud y el destino, puesto que no requerirá que ningún miembro del sector sanitario realice parte del trayecto. También se dará el escenario de que se realice parte del trayecto por carretera y

parte con este sistema. Cada escenario es diferente y se deberá estudiar en cada uno la utilidad del sistema y como conviene emplearlo para sacarle un mayor provecho. En cuanto al coste del sistema, se ha calculado que son 20.325,49 € anuales, siendo el salario del piloto del dron el mayor de los gastos, siendo de 20.000 €. El coste de amortización del dron y los repuestos también será elevado, siendo de 158,10 € y 126,50 € respectivamente. La comparativa con otros sistemas de reparto es complicada, pues depende mucho de la casuística a tratar. Aunque se ha demostrado con un ejemplo práctico de entrega de medicamentos al pueblo de Ascaso que este sistema es capaz de optimizar los tiempos de entrega y reducir de forma notable los costes. Consiguiendo una reducción de 10.774,51 € y reduciendo los tiempos de espera en un 85%. Este sistema no será un remplazo general de los métodos de reparto convencionales, pero sí será una gran optimización del método de reparto actual. Reduciendo costes y tiempos de espera en varios escenarios, lo que permitirá una notable mejora de la situación actual del sector sanitario en medios rurales.

Bibliografía

- [1] Clara Pinar. *La paradoja de España: es el país de la UE con más partes deshabitadas, pero tiene las dos provincias más pobladas*. URL: <https://www.20minutos.es/noticia/5114650/0/la-paradoja-de-espana-es-el-pais-de-la-ue-con-mas-partes-deshabitadas-pero-tiene-las-dos-provincias-mas-pobladas/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 2).
- [2] Francesc Roig y Francesc Saigí. *Dificultades para incorporar la telemedicina en las organizaciones sanitarias: perspectivas analíticas*. 2009 (vid. págs. 2, 51).
- [3] Mark Huber. «Flirtey to launch US drone delivery service in 2020». En: *Aviation International News* (2019) (vid. pág. 5).
- [4] Marina Franco. *Drones para salvar la Amazonía: "La tecnología empodera a las comunidades indígenas para defender sus tierras"*. URL: <https://www.telemundo.com/noticias/noticias-telemundo/medio-ambiente/desforestacion-amazonia-drones-tecnologia-rcna53189/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 6, 7).
- [5] Adrienne Welch Sudbury y E Bruce Hutchinson. «A cost analysis of amazon prime air (drone delivery)». En: *Journal for Economic Educators* 16.1 (2016), págs. 1-12 (vid. pág. 7).
- [6] Miguel González. *Los 10 mejores drones para Levantamiento Pesado*. URL: <https://filmora.wondershare.es/drones/best-heavy-lift-drones.html#:~:text=de%2010%20kg-,1.,de%20Vulcan%20en%20la%20actualidad/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 8-10, 45, 51).
- [7] Spencer Gore. *Nuevo dron con 2 horas de autonomía*. URL: <https://fotografiaydrones.com/nuevo-dron-con-2-horas-de-autonomia/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 9, 10).
- [8] Javier Domínguez. *Que es un dron tricóptero quadcopter hexacóptero y octocóptero*. URL: <https://dronemanya.com/es/post/cual-es-la-diferencia-tricoptero-quadcopter-octocopter-hexacopter>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 11-14).
- [9] ElectroYa. *Cheerson CX33 Tricóptero*. URL: <https://www.electroya.com/producto/cheerson-cx33-tricoptero-de-6-motores-2-4ghz-con-barometro/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 11).
- [10] Amazon. *DJI Mavic Pro*. URL: <https://www.amazon.es/dji-Mavic-Pro-cuadric%C3%B3ptero-Minutos/dp/B01M0AVO1P?th=1>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 12).

-
- [11] Miguel González. *Motores para Drones: Selecciona el Mejor Motor para tu Cuadricóptero*. URL: <https://filmora.wondershare.es/drones/drone-motors.html>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 14-16).
- [12] Mobus. *ESC para drones*. URL: <https://mobus.es/blog/esc-para-drones-para-que-sirven/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 16).
- [13] Gabriel Rodríguez. *¿Cómo funcionan las hélices de un dron?* URL: <https://www.comprardrones.online/como-funcionan-las-helices-de-un-drone/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 17, 22).
- [14] Roberto Martínez Pérez. «Diseño y fabricación de un dron». Tesis de mtría. Universitat Politècnica de València, 2016. URL: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%20C3%29REZ%20-%20Dise%20B1o%20y%20fabricaci%20de%20un%20dron%20median> (vid. pág. 18).
- [15] Florencio Ortopeda. *Muleta de aluminio estándar*. URL: <https://www.ortopediaflorencio.com/muletas-ortop-dicas/64-muleta-de-aluminio-estandar-8436543193732.html/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 19).
- [16] Exactitude Consultancy. *Mercado de drones multirrotor*. URL: <https://exactitudeconsultancy.com/es/informes/18743/mercado-drones-multirrotor/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 20).
- [17] BYOD. *DJI E1200 4216 MOTOR CW 310 KV*. URL: <https://www.buildyourowndrone.co.uk/dji-e1200-4216-motor-cw-310-kv>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 21, 23).
- [18] RCinnovations. *ZTW Spider 20A PRO Premium*. URL: <https://rc-innovations.es/shop/ztw-spider-20a-pro-premium-blheli-oneshot125-spider-Variador-dron-ESC#attr=>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 22).
- [19] Acre. *Hélices Matrice 30 series DJI*. URL: <https://grupoacre.es/catalogo-productos/helices-matrice-30-series-dji/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 22, 23).
- [20] Amazon. *Zeee 4S LiPo Batería 14.8V 100C 6000mAh*. URL: https://www.amazon.es/Zeee-Bater%20C3%20ADa-Conector-Helic%20B3ptero-Paquetes/dp/B089YNLV7H/ref=asc_df_B089YNLV7H/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=529794723038&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=8973561889286648815&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=2724&hvtargid=pla-939268964599&psc=1. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 23, 24).
- [21] RCinnovations. *Tmotor F7 HD*. URL: <https://rc-innovations.es/shop/controladora-f7-hd-dji-fpv-tmotor#attr=4262>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 24).
- [22] Grandado. *Control inteligente DJI RC PRO*. URL: https://esp.grandado.com/products/control-inteligente-dji-rc-pro-10-piezas-con-pantalla-de-vidrio-templado-para-dron-mavic-2-pro-y-zoom-mavic?variant=UHJvZHVjdFZhcmlhbnQ6MzgZnY4MDEy&gclid=Cj0KCQjw0bunBhD9ARIsAAZl0E3sAJm6WHxgwPswHLY0d3vh5zue5WV5eQspqLN6zyVwaAuquEALw_wcB. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 25).
-

- [23] Aliexpress. *Hawkeye-videocámara aérea Firefly Q6 4K HD FPV*. URL: <https://es.aliexpress.com/item/32984427989.html>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 26).
- [24] Aliexpress. *Varilla de fibra de carbono*. URL: <https://www.clipcarbono.com/es/varillas-lisas/629-varilla-de-fibra-de-carbono-diametro-5-mm-longitud-1000mm.html>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 27).
- [25] Dhwanil Shukla y Narayanan Komerath. «Multirotor drone aerodynamic interaction investigation». En: *Drones 2.4* (2018), pág. 43 (vid. pág. 29).
- [26] Amazon. *Plastic Forte Caja botiquín Primeros Auxilios con Tapa 4L. de Capacidad*. URL: https://www.amazon.es/Plastic-Forte-botiqu%C3%ADn-Primeros-Capacidad/dp/B089NCK83Y/ref=sr_1_4?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1MUHA054PCYKV&keywords=caja+medico&qid=1693413226&s=hpc&sprefix=caja+m%C3%A9dico%2Chpc%2C345&sr=1-4. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 30).
- [27] Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales. *Real Decreto 1036/2017*. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-15721>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 37-39).
- [28] Enaire. *Mapa profesional de vuelo de drones*. URL: <https://drones.enaire.es/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. págs. 39, 40).
- [29] Amazon. *Plataforma de despegue de dron*. URL: <https://www.amazon.es/pista-aterrizaje-drone/s?k=pista+aterrizaje+drone/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 43).
- [30] Selectra. *Tarifa de la electricidad*. URL: <https://tarifaluzhora.es/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 44).
- [31] Glassdor. *Sueldo piloto de drones*. URL: https://www.glassdoor.es/Sueldos/piloto-de-dron-sueldo-SRCH_KO0,14.htm#:~:text=Sueldos%20para%20el%20puesto%20de%20Piloto%20de%20dron%20en%20Espa%C3%B1a&text=En%20Espa%C3%B1a%2C%20el%20sueldo%20medio,dron%20es%20de%20%E2%82%AC53.514%20... Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 44).
- [32] Ascaso Casa Juez. *Habitantes Ascaso*. URL: <https://web.archive.org/web/20071006132241/http://www.ascaso.es.mn/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 47).
- [33] Diesel o gasolina. *Precio del diésel hoy*. URL: <https://www.dieselogasolina.com/>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 48).
- [34] La Razón. *El Gobierno abre la puerta a las ambulancias más contaminantes*. URL: <https://www.larazon.es/sociedad/20220320/lg3xgaeslneiffzpvqmmddajvm.html#:~:text=Se%20trata%20de%20veh%C3%ADculos%20con%20%20litros%20y%20emisiones%20elevadas..>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 48).
- [35] El Comercio. *Sanidad amplía de 8 a 10 años la vida útil de las ambulancias*. URL: <https://www.elcomercio.es/asturias/sanidad-amplia-ocho-20180906000824-ntvo.html>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 48).

- [36] Daniel Estévez. *Sueldos España*. URL: <https://www.academiadeltransportista.com/blog/cuanto-cobra-conductor-ambulancia-espana/#:~:text=El%20sueldo%20medio%20de%20un,mensual%20de%201.440%20%E2%82%AC%20netos>. Último acceso: 13 de septiembre de 2023 (vid. pág. 48).

Parte II
ANEXOS

Apéndice A

Datos de rendimiento del dron

En este anexo se presentarán otros datos de interés para el funcionamiento del dron para su desarrollo, aportando gráficos de los resultados obtenidos de la simulación.

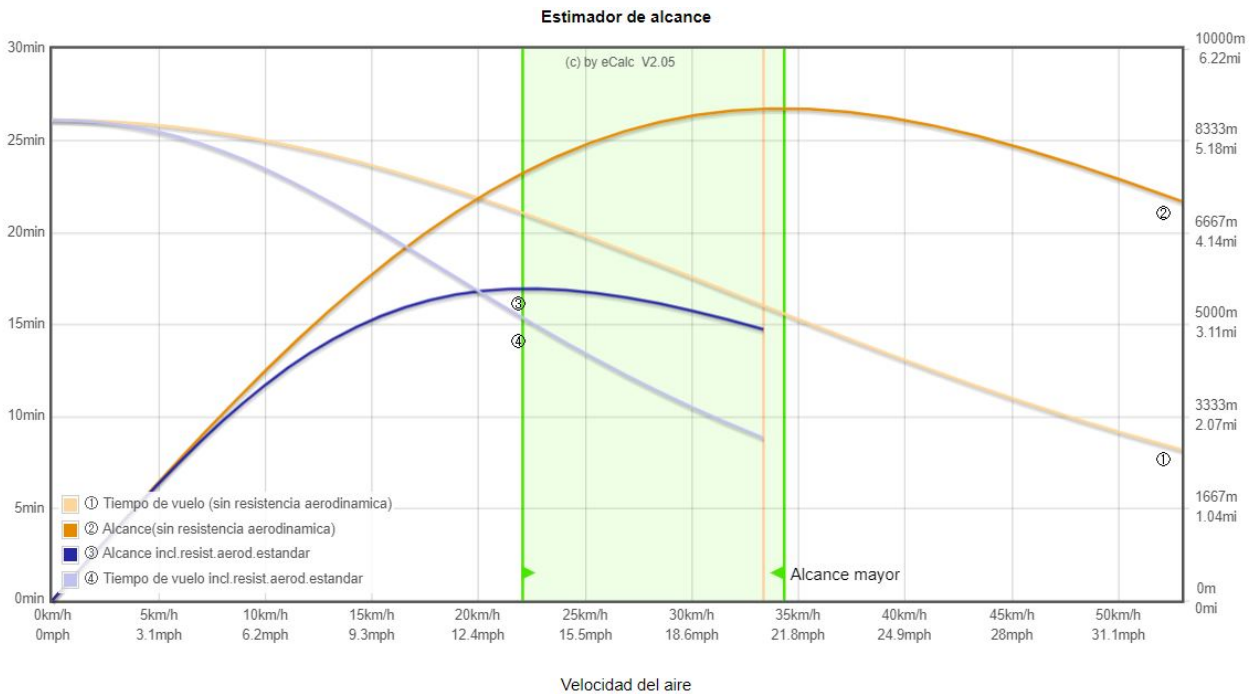


Figura A.1: Comparativa del alcance del dron según su velocidad

En la Figura A.1, se muestran los valores relativos al alcance del dron, destacando que el óptimo rendimiento se logrará al operar el dron a velocidades comprendidas entre 23 y 35 km/h, donde se maximiza su alcance.

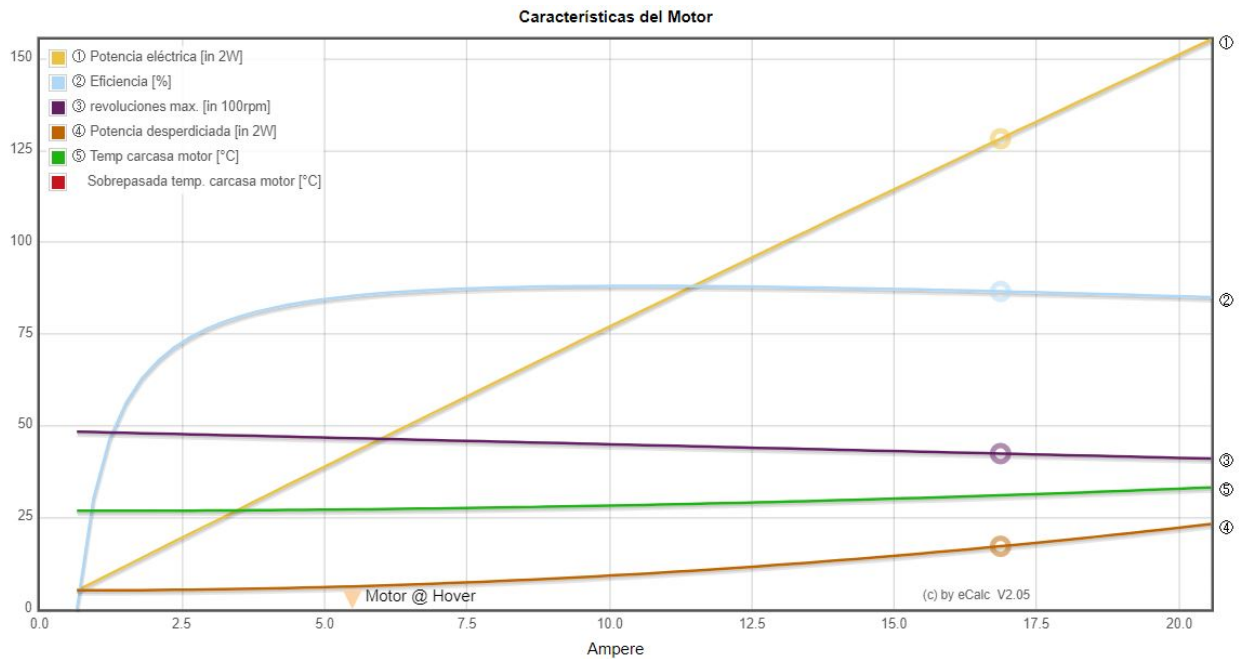


Figura A.2: Características eléctricas del motor

En la Figura A.2 se pueden observar las características eléctricas del motor, destacando su potencia eléctrica y eficiencia como datos más relevantes.


Multicóptero	
Peso total:	2803 g 98.9 oz
máximo peso adicional:	2602 g 91.8 oz
inclinación máxima:	59 °
velocidad máxima:	47 km/h 29.2 mph
Rango estimado:	5411 m 3.36 mi
Trepada estimada :	5.5 m/s 1083 ft/min
Area total del disco:	52.80 dm ² 818.4 in ²
Fallo del motor:	

Figura A.3: Características principales del dron obtenidas en eCalc

En la Figura A.3 se pueden observar otros datos relevantes del dron como su velocidad máxima, el máximo peso que podrá levantar y su rango. Que han sido relevantes durante el Capítulo de 9 y otros que no serán necesarios para la realización de este proyecto, pero tendrán interés técnico para el piloto como su trepada máxima, su inclinación o el área total del disco del dron.