

Trabajo de Fin de Máster

Máster universitario en Ingeniería Industrial

**ESTUDIO DE UN DRON DEDICADO AL SERVICIO DE
MENSAJERÍA**

Memoria

Autor: Francisco Vila Bara

Director: Joaquín Fernández

Convocatoria: abril 2021



Escola Tècnica Superior

d'Enginyeria Industrial de Barcelona

1. Resumen

En este estudio se quiere estudiar un modelo para poder transportar paquetes mediante un dron. Este proyecto nace con la idea de simplificar y optimizar lo que sería el transporte de una empresa de mensajería de un producto desde el origen hasta su punto final

Este proyecto empieza de cero, sin ningún otro estudio hecho con anterioridad. Es por eso que lo primero de todo será identificar la motivación, los objetivos, el alcance y limitaciones de este proyecto, para poder tener claro hacia dónde dirigir el proyecto.

El siguiente paso a realizar es un estudio de mercado y un análisis tanto de usuario como funcional. Todo esto se hará con la intención de poder ver las características que requiere tener que tener el dron y para poder ver cuál es la mejor opción para poder transportar el paquete.

El dron, aparte de elegir cual será la mejor opción para este proyecto, también se le quiere hacer un estudio para ver si es viable añadirle un sistema energético auxiliar, por lo que se hará una breve búsqueda para poder analizar cuáles son los mejores sistemas de energía para este caso en concreto y así poder aumentar el tiempo operativo del dron.

Una vez ya se ha decidido cuál será el modelo del dron destinado para este proyecto, se quiere hacer un estudio para analizar cuál podría ser el mejor sistema de transporte para los objetos haciendo que estos lleguen en buenas condiciones al cliente. En primera instancia se buscarán posibles sistemas existentes para poder tener una idea y, a continuación, se realizará un diseño totalmente de cero el cual se puede fabricar con impresión 3D y que puede ser personalizable por la empresa dependiendo el tipo de mercancía que se quiera transporta.

También se valorarán las diferentes opciones que tiene el proyecto para realizar el transporte de las mercancías y se analizará la seguridad del proyecto. Para finalizar, se realizará un presupuesto aproximado en el cual se analizarán los diferentes costes que son necesarios para la realización de las primeras pruebas para analizar si realmente este nuevo sistema es viable económicamente o no.

Índice

1.	Resumen.....	3
2.	Prólogo.....	6
2.1.	Origen del proyecto.....	6
2.2.	Motivación.....	6
3.	Introducción.....	7
3.1.	Origen del dron.....	7
3.2.	Objetivos del proyecto.....	7
3.3.	Alcance del proyecto.....	8
3.4.	Limitaciones del proyecto.....	8
4.	Estudio previo.....	10
4.1.	Estudio de mercado: estado del arte.....	10
4.2.	Elección final.....	15
4.3.	Análisis de usuarios y necesidades.....	16
4.4.	Análisis funcional.....	19
5.	Selección del dron.....	20
5.1.	Requisitos del dron.....	20
5.2.	Drones.....	21
5.3.	Decisión final.....	27
5.4.	Matternet M2 Drone.....	28
6.	Sistema energético auxiliar.....	30
6.1.	Fuentes de energía.....	30
6.2.	Estudio energético.....	31
7.	Estructura para transportar los paquetes.....	35
7.1.	Diseños existentes.....	35
7.2.	Primer diseño.....	38
7.3.	Materiales para la estructura.....	41
7.4.	Diseño final.....	49
8.	Logística.....	54
9.	Seguridad.....	56
10.	Presupuesto.....	58
11.	Futuras propuestas de mejora.....	61
12.	Conclusiones.....	62
13.	Bibliografía.....	63

2. Prólogo

2.1. Origen del proyecto

Durante los últimos años y más durante la reciente pandemia, el tema del transporte de mercancías a un particular ha aumentado notoriamente. Empresas como Amazon se están aprovechando de ello y es por eso que este proyecto nace con la idea de intentar optimizar y simplificar el proceso del transporte del paquete desde el almacén hasta la llegada a la casa del cliente.

Cuando se habla de transporte, hay dos principales mejoras que se contemplan: reducir el tiempo de transporte o mejorar el packaging del producto. Es por eso que, si el encargado de este proceso es una persona que tiene diferentes pedidos y que puede que factores externos a él puedan aumentar el tiempo de entrega o que el paquete llegue en malas condiciones hace pensar que usar un dron pueda ser una buena opción para optimizar este proceso.

2.2. Motivación

La principal motivación de este proyecto es el diseñar algo innovador, emergente y con potencial de futuro. El proyecto es innovador y emergente ya que se utilizan herramientas como los drones que son una tecnología relativamente nueva y que cada vez es más popular entre la población. Cuando se habla de potencial de futuro es debido a que como ya se ha comentado, este mercado está en plena expansión y es muy probable que en los próximos años siga creciendo.

El proyecto se presenta como un desafío ya que involucra varios retos como la implantación de energías renovables en el dron o el diseño de un recipiente para transportar los objetos hasta el cliente final.

3. Introducción

3.1. Origen del dron

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle), comúnmente conocido como dron, hace referencia a una aeronave que vuela sin tripulación, la cual ejerce su función remotamente. Un dron es un vehículo sin tripulación, reutilizable, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor, generalmente eléctrico.

El diseño de los drones tiene una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características. Existen dos variantes: los controlados desde una ubicación remota y aquellos de vuelo autónomo a partir de planes de vuelo preprogramados a través de automatización dinámica.

Existen drones de uso tanto civil como comercial, pero sus primeros usos fueron en aplicaciones militares, en este caso llamados Vehículos Aéreos de Combate No Tripulados (UCAV en sus siglas en inglés).

Con la progresiva popularización del uso civil de los drones, sus aplicaciones varían ampliándose así el número de consumidores más allá del terreno militar. Este crecimiento ha llevado a que emerjan cada vez más empresas para beneficiarse de este nicho de mercado.

Los drones se emplean asimismo en un creciente número de aplicaciones civiles, como en labores de lucha contra incendios o seguridad civil. Los vehículos aéreos no tripulados suelen ser preferidos para misiones que son demasiado aburridas, repetitivas, sucias, peligrosas, caras para los aviones tripulados.

3.2. Objetivos del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es la de desarrollar un nuevo sistema totalmente autónomo para transportar mercancías y que este sea rentable. Este sistema tiene que ser más competitivo que las soluciones existentes por lo que tiene que ser más efectivo y más económico.

Otros objetivos que se podrían cumplir es que el proyecto sea realista, que se pueda realizar de la manera más sencilla posible y con recursos ya existentes. También tiene que ser innovador y tiene que poder adaptar la tecnología actual para un mejor funcionamiento del sistema.

3.3. Alcance del proyecto

Este proyecto tendrá en cuenta los puntos más relevantes de un proyecto real. Desde un estudio inicial del estado del arte y del mercado y sus necesidades, pasando por la selección del dron, cálculo de fuerzas ejercidas sobre él y diseño de los elementos de soporte, tanto de la fuente de energía renovable como del elemento donde se transportará la mercancía. Para finalizar, se hará un estudio del proyecto para ver si la solución propuesta es económicamente viable.

3.4. Limitaciones del proyecto

En el momento en que se inicia un proyecto, es tan importante conocer tanto los objetivos y el alcance, como comprender sus restricciones y limitaciones. De esta manera, se puede tener una visión general de en qué punto se encuentra la propuesta y conocer las limitaciones desde las que comienza el proyecto. Las limitaciones de este proyecto son las que se muestran a continuación:

- No se pueden llevar mercancías de gran tamaño o peso ya que podría provocar que el dron se podría desestabilizar por el cual este se limita teniendo en cuenta tanto el tamaño como el peso de los paquetes que se transportan con más frecuencia por diferentes empresas.
- Dependiendo de las condiciones climáticas, no se podrá usar este sistema, como en caso de lluvia intensa o gran viento. Esto es debido a que podría provocar algún accidente si afecta al funcionamiento del dron.
- Este sistema está pensado para que se pueda transportar los paquetes hasta una distancia máxima de 5 kilómetros de manera autónoma. Hay que tener en cuenta que, en la actualidad, existe una legislación establecida por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, que limitan la altura de vuelo a 120 metros, así como la distancia

a 500 metros dentro del radio de alcance visual del piloto. Por el momento, la legislación vigente no permite que las naves sobrevuelen los núcleos urbanos y es por eso que, en un primer análisis, se limita la distancia de vuelo autónomo a una que el dron pueda cumplir sin ningún inconveniente.

- El dron ha de tener unas dimensiones relativamente pequeñas. Es cierto que en el mercado actual hay drones que puedan cumplir con todos los requisitos que se proponen, pero se ha de tener en cuenta la seguridad en caso de accidente. Es por eso, que se propone poner un límite en el tamaño del dron para que, en caso de caída, cause los mínimos daños posibles.

- El aterrizaje quedará terminantemente prohibido en zonas públicas. El dron solo podrá aterrizar en zonas reservadas para dicha actividad como en las azoteas o en zonas señalizadas.

- No se realizarán pruebas reales del proyecto. Como ya se ha comentado, existe una legislación que prohíbe el vuelo de drones de forma autónoma a más de 500 metros dentro del campo de visión del piloto y eso provoca que sea imposible la realización de dichas pruebas.

- No se elaborará un prototipo ni de la caja. Al no tener el dron ni poder tener un modelo real de este, el hecho de imprimir un prototipo sería improductivo.

- No se diseñará o adaptará un dron existente en el mercado. Actualmente muchas empresas ya están diseñando o adaptando drones existentes para poder realizar el trabajo que se propone de forma eficiente. Por eso se decide analizar el mercado y elegir uno de esos drones para este proyecto.

- El dron elegido tiene la opción de hacer un seguimiento del paquete y la estación diseñada por la empresa tiene la opción de identificarse para la recogida del paquete mediante una tarjeta. Todo esto se hará de manera virtual pero no se hará el diseño de la app en este proyecto.

4. Estudio previo

4.1. Estudio de mercado: estado del arte

El proyecto que se quiere desarrollar es bastante innovador y en la actualidad hay pocos proyectos que se asemejen. Pero eso no quiere decir que las empresas no estén invirtiendo muchos recursos en la investigación en este mercado que se está empezando a surgir ya que, este servicio, daría un gran valor añadido a estas grandes empresas del sector del transporte. A continuación, se muestran algunos ejemplos de diferentes empresas que han empezado a realizar pruebas de proyectos muy similares a este:

Proyecto 1:

Empresa: DHL



Imagen 1: Logo de la empresa DHL

Descripción: La compañía alemana DHL quiere poner en marcha un proyecto de entrega de paquetería de última milla en el país asiático que permitirá realizar envíos de hasta cinco kilogramos de manos de drones.

Proyecto 2:

Empresa: Google Wing



Imagen 2: Logo de la empresa Google Wings

Descripción: Google Wing se estrenó a principios del 2019 en el servicio comercial de entrega de paquetes con drones no tripulados en Australia. Eso fue posible tras conseguir el permiso de las autoridades aéreas de dicho país para operar en una remota zona poco poblada y, tras cuatro años de pruebas, han conseguido realizar más de setenta mil vuelos y tres mil entregas con éxito.

Proyecto 3:

Empresa: Amazon Prime Air



Imagen 3: Logo de la empresa Amazon Prime Air

Descripción: Prime Air es el servicio de entrega de drones y, actualmente en desarrollo, de Amazon. Se esperaba que empezará a operar a partir de finales del 2019, sin embargo y, a día de hoy, el servicio aún no se ha podido materializar. El servicio pretende utilizar drones de entrega de forma autónoma, para transportar paquetes individuales a los clientes dentro de los 30 minutos posteriores a la realización del pedido.

Proyecto 4:

Empresa: UPS



Imagen 4: Logo de la empresa UPS

Descripción: La filial Flight Forward de UPS fue instaurada con el propósito de encontrar y desarrollar nuevas formas de entregar paquetes por aire para zonas donde es más efectivo este método o el único viable. En UPS han hecho otro tipo de experimentos anteriormente, como por ejemplo una estación para drones en camiones.

Proyecto 5:

Empresa: Axdrón



Imagen 5: Logo de la empresa Axdrón

Descripción: Axdrón es una empresa que ha dotado a su flota de drones de una puntera tecnología de navegación por GPS punto a punto que les permite realizar envíos a los destinos previamente asignados. Esto es posible mediante el uso de la tecnología más fiable, que facilita la llegada de las aeronaves no tripuladas a los sitios más remotos o a aquellos que cuentan con un acceso difícil o casi imposible.

Proyecto 6:

Empresa: Zookal



Imagen 6: Logo de la empresa Zookal

Descripción: Zookal es una startup australiana que comercializa libros. La idea de esta empresa es la de realizar entregas en tiempos muy cortos, de unos tres minutos. Para realizar el pedido, los usuarios únicamente han de solicitar el libro desde una aplicación móvil, monitorear el dron asignado para su entrega y recibirlo en el momento en que este llegue al punto indicado de recogida.

Proyecto 7:

Empresa: Swiss Post



Imagen 7: Logo de la empresa Swiss Post

Descripción: Swiss Post está a la vanguardia del desarrollo y despliegue de aviones teledirigidos para la logística. En julio de 2015, Swiss Post probó el uso de drones para la entrega de correo como parte de una empresa conjunta, que incluía a Swiss WorldCargo y al fabricante de drones Matternet. No sólo se ideó para la entrega de correo o paquetes, sino también para situaciones de emergencia como la entrega de suministros de socorro de emergencia o para envíos de alta prioridad como muestras de laboratorio.

Proyecto 8:

Empresa: JD.com



Imagen 8: Logo de la empresa JD.com

Descripción: En noviembre de 2018, una unidad del gigante chino de comercio electrónico JD.com se convirtió en la primera empresa del país en obtener una licencia para operar aviones no tripulados para la logística a nivel provincial. Su operación ha ayudado a resolver los problemas de distribución en zonas rurales y de difícil acceso, y ha extendido la logística inteligente para llegar a más regiones y a más personas.

Proyecto 9:

Empresa: Uber Eats



Imagen 9: Logo de la empresa Uber Eats

Descripción: Uber Eats, el servicio de reparto de comida a domicilio de Uber consideran que tan pronto les sea posible, quieren ser capaces de cambiar a sus “no empleados” por drones. La empresa tiene grandes planes para integrar la tecnología de drones a su plataforma ya que, como ha asegurado en varias ocasiones, si hubiera de contratar a sus repartidores, el servicio no se podría llevar a cabo por su elevado coste.

Proyecto 10:

Empresa: Zipline



Imagen 10: Logo de la empresa Zipline

Descripción: Zipline nació con la intención de crear un sistema logístico para envíos urgentes de material médico, lo que desembocó en la creación de este sistema aéreo no tripulado. Éste ya se está utilizando de manera exitosa en varias partes del mundo, a destacar sus oficinas y centros de distribución de material médico con drones tanto en Ruanda (2016) como en Ghana (2019).

4.2. Elección final

En este apartado, se quieren mencionar todos esos puntos que serán relevantes a la hora de tomar decisiones sobre el proyecto ayudando así a tomar futuras decisiones para este proyecto.

Aunque este proyecto no tiene por qué ser parecido a otros, hay factores que son indispensables para que el proyecto pueda seguir adelante. Estos puntos son:

Sostenibilidad: El cuidar el medio ambiente es un factor a tener muy en cuenta a la hora de empezar un nuevo proyecto. En todo momento se intentará tener en cuenta que el proyecto sea lo más respetuoso con el medio ambiente posible.

Coste: El coste es un factor indispensable de tener en cuenta ya que puede determinar si este se puede llevar a cabo o no. Es por eso que siempre se intentará que el coste sea el más económico posible, pero siempre teniendo en cuenta, que el proyecto pueda llevarse a cabo sin perder calidad.

Seguridad: Junto al coste, es otro de los puntos indispensable ya que, como se ha comentado, este proyecto tiene un gran potencial para crecer en un sector que ahora mismo está en auge, pero también es cierto que, si no se toman precauciones, cualquier accidente que se pueda producir puede ser muy peligroso ya que puede llegar a herir a personas según la situación del accidente.

Comodidad: Con la pandemia global que se ha vivido durante este último año, el sector de la paquetería ha tenido un gran crecimiento debido a que, al no poder salir de casa, no se podían adquirir algunos productos si no era mediante algún servicio de paquetería. Es por eso que hay que intentar sea lo más cómodo para el consumidor siempre que sea posible.

Rapidez: Una de las mejoras que se puede proponer a los sistemas de reparto de paquetes es que sean más rápidos. Es por eso que la rapidez de la entrega ha de ser un factor a tener en cuenta para este proyecto.

Diseño: Este factor puede ser el más irrelevante ya que, no importa el diseño del proyecto mientras este sea funcional y cumpla los requisitos, pero es cierto que se ha de tener en consideración ya que sigue siendo un producto el cual hay que vender a los futuros clientes.

Versatilidad: Se quiere dotar a este proyecto con la máxima versatilidad posible ya que, en caso de que lo necesite, sea fácilmente modificable. Esto es debido a que el proyecto es muy innovador y es posible que, en los próximos años, puedan aparecer nuevas tecnologías que ahora no se puede tener en cuenta. Por eso, un proyecto en el cual se puedan modificar diferentes aspectos al antojo del que realiza el proyecto puede hacer que el proyecto gane valor respecto a la competencia.

4.3. Análisis de usuarios y necesidades

Esta sección pretende profundizar tanto en los usuarios como en las necesidades del proyecto para poder analizar el mercado de manera más efectiva. Hay que tener en cuenta que, este punto, es bastante abstracto ya que depende de la opinión de la persona encargada de hacer el análisis según su opinión personal y el conocimiento que tiene sobre el tema. A continuación, se describen tanto los usuarios como las necesidades de estos:

1. **Usuarios:** es la gente que está involucrada o podría estarlo en el proyecto.
 - Empresa: Es la encargada de llevar a cabo el proyecto y de que el servicio sea eficiente.
 - Ingeniero: Será el responsable de que el funcionamiento de los drones sea el indicado (velocidad de vuelo del transporte, carga permitida ...).
 - Competencia: Son otras empresas que tienen la idea de llevar a cabo un proyecto similar.
 - Clientes: Los que se benefician del proyecto.
 - Personal de reciclaje: Son los responsables de, una vez terminada la vida del objeto o durante su fabricación, de reciclar bien basura generada.
 - Personal de mantenimiento: Se encargarán de que los drones estén en buen estado.
 - Personal de logística: Ellos son los encargados de cargar el paquete en el dron para el futuro cliente. Tanto la caja como el contenido de su interior.
 - Controlador: El encargado de que el dron siga su ruta sin ningún impedimento. También comprobarán si el dron tiene suficiente autonomía para el siguiente trayecto.
 - Personal de emergencia: En caso de accidente, serían los encargados de tomar las medidas necesarias para que se encuentre una solución al incidente.

2. **Necesidades:** todo aquello que los usuarios ‘exigen’ del proyecto.

- Estética
- Durabilidad
- Coste
- Reciclabilidad
- Fácil montaje
- Calidad
- Resistente
- Autonomía

La tabla que se muestra a continuación, se presentan los diferentes usuarios con sus respectivas necesidades según se ha considerado para este proyecto.

USUARIOS	NECESIDADES	DEMANDA
Empresa	<ul style="list-style-type: none"> ● Estética ● Durabilidad ● Coste 	<ul style="list-style-type: none"> ● Atractivo ● Seguro ● Bajo coste
Ingeniero	<ul style="list-style-type: none"> ● Coste ● Calidad ● Durabilidad ● Autonomía 	<ul style="list-style-type: none"> ● Bajo coste ● Seguro ● Materiales resistentes ● Gran autonomía
Competencia	<ul style="list-style-type: none"> ● Mejor proyecto ● Bajo coste 	

Clientes	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad • Coste 	<ul style="list-style-type: none"> • Seguro • Bajo coste
Personal de reciclaje	<ul style="list-style-type: none"> • 3Rs (Reducir, reciclar y reusar) • Durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el consumo • Eco-friendly
Personal de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Resistencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales resistentes
Personal de logística	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil montaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-friendly
Controlador	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomía 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran autonomía
Personal de emergencia	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de reacción corto

Tabla 1: Tabla de usuarios y necesidades

4.4. Análisis funcional

El análisis funcional es necesario para completar la descripción del problema y las características que desea cumplir el nuevo diseño. En base a las necesidades de los usuarios, se deciden criterios y valores que definen las características del proyecto.

La tabla que se muestra a continuación está compuesta por las necesidades encontradas y la importancia de las funciones propuestas. Debajo de la tabla, hay una breve explicación de los criterios sobre algunas de estas necesidades.

El valor de cada necesidad se marcará a la hora de diseñar el producto dependiendo de su prioridad. El nivel de prioridad se impone en función de los objetivos del proyecto, por lo que, si es uno de ellos, se le dará mayor importancia. El valor que se le da a cada necesidad es un valor muy abstracto ya que, como el punto anterior, depende de la persona que realiza el análisis.

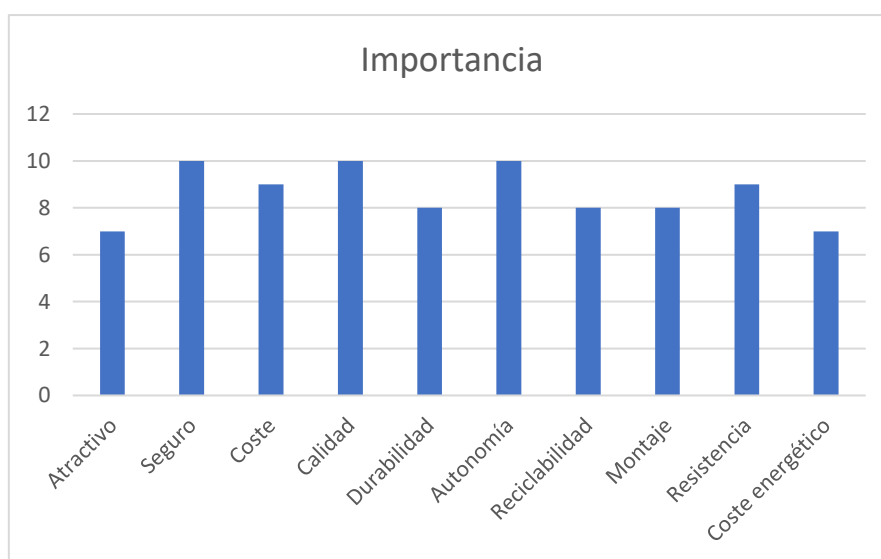


Gráfico 1: Gráfico de la importancia de las necesidades

Para algunos elementos, se ha definido un criterio. Los siguientes son: El costo se mide en euros (€), la resistencia se mide con el peso que se puede sostener en kilogramos (kg) o Newtons (N), el costo de energía en kilovatios (kW), el proceso de fabricación con el número de procesos y la durabilidad con los años de vida útil.

5. Selección del dron

Para este proyecto, se utilizará un dron ya existente y se adaptará si las necesidades del proyecto lo requieren. Es por eso que, en este punto, se elegirá cuál va a ser el dron que mejor se adapta al proyecto y, para eso, hay que describir las características que ha de tener el dron para cumplir con los requisitos del proyecto. También se analizarán algunos de los drones que ya estén en el mercado y que están diseñado para realizar trabajos similares al que propone este proyecto.

5.1. Requisitos del dron

Para poder seleccionar el dron que mejor se adapte al proyecto, primero hay que de definir cuales tienen que ser los requisitos a cumplir por este y, una vez se tengan, ver de entre todas las opciones cual es el que mejor se adapta. A continuación, se presentan los requisitos a cumplir por los candidatos:

- Ha de poder cargar paquetes de un tamaño igual o superior a 15x10x10 centímetros y un peso de 2 kilogramos sin sufrir ningún tipo de malfuncionamiento.
- Ha de tener una autonomía mínima de 10 kilómetros y, a poder ser posible, que su velocidad cuando transporta una carga sea la más alta posible.
- Ha de poder volar sin ninguna dificultad en diferentes condiciones climáticas favorables como lluvia poco intensa o ráfagas de viento con velocidad inferior a 29 km/h.
- Que el rango de transmisión sea lo suficientemente amplio como para poder volar al menos hasta 5 kilómetros de distancia de forma autónoma para poder llegar a lugares alejados. Se ha escogido este rango ya que, en la actualidad, está prohibido volar un dron de forma autónoma.
- Sería optimo que ya tuviera incorporado un sistema para poder transportar las mercancías, para poder evitar modificar la estructura del dron pudiendo afectar a algunos aspectos del dron como la aerodinámica.
- El tamaño del dron ha de ser lo más pequeño posible para causar los mínimos daños posibles en caso de accidente, pero ha de tener un tamaño razonable para poder transportar los productos sin problema.
- Ha de ser eléctrico. Como se ha comentado el tema del medioambiente es muy importante, es por eso que introducir un dron que consuma gasolina no sería beneficioso a parte que encarecería y dificultaría el sistema.

5.2. Drones

Una vez se conocen cuáles son los requisitos que ha de cumplir el dron para este proyecto, se analizará el mercado para ver que dron es el más apropiado. A continuación, se presentan los posibles candidatos que se plantean utilizar para este proyecto.

Número 1: DJI Matrice 600 Pro



Imagen 11: Dron de la compañía DJI

Este dron es usado por la compañía Flytrex para hacer entregas a domicilios y campos de golf en Carolina del Norte. Puede alcanzar una velocidad de 50 km/h y llevar una carga de hasta 3 kilogramos. Su autonomía es de 29 minutos con una carga de 2 kilogramos. Las dimensiones del dron son de 166,8x151,8x72,7 centímetros con las hélices, brazos y el soporte del GPS desplegados.

Número 2: Dron Bell APT 70

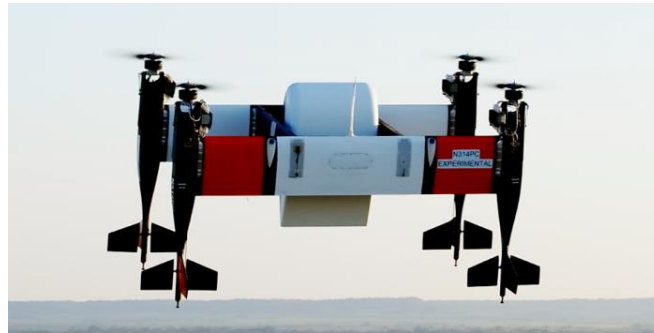


Imagen 12: Dron de la compañía Bell

El fabricante de aeronaves Bell ha desarrollado un nuevo dron autónomo que puede despegar y aterrizar verticalmente. Está diseñado para realizar diferentes tipos de servicios como la entrega de paquetes o el transporte de suministros médicos. Puede alcanzar una velocidad superior de 160 km/h y llevar una carga de hasta 30 kilogramos. Tiene unas dimensiones de 183 centímetros de altura y 274 centímetros de ancho. Puede recorrer 56 kilómetros sin necesidad de recarga.

Número 3: Matternet M2 Drone



Imagen 13: Dron de la compañía Matternet

La empresa UPS está utilizando este modelo para realizar entregas de muestras médicas en Carolina del Norte. También está autorizado por la autoridad aeronáutica suiza para operaciones logísticas completas sobre ciudades. Está diseñado para transportar cargas útiles de hasta 2 kilogramos a una distancia de hasta 20 kilómetros con una sola carga de batería. Puede alcanzar velocidades superiores a los 65 km/h.

Número 4: Wingcopter GmbH



Imagen 14: Dron de la compañía Wingcopter

La empresa de paquetería DHL ha colaborado con el fabricante alemán Wingcopter para desarrollar un dron autónomo para la entrega de suministros. Está diseñado para soportar una carga de hasta 6 kilogramos y alcanzar una velocidad de 130 km/h. Puede completar vuelos de hasta 75 kilómetros de distancia en 65 minutos con un peso de hasta 2 kilogramos. Ya se ha utilizado con éxito en lugares como Tanzania para la entrega de medicamentos en zonas remotas. Sus dimensiones son 178 centímetros de distancia entre punta y punta de las alas y 132 centímetros desde la cabeza hasta la cola.

Número 5: Airbus Skyways



Imagen 15: Dron de la compañía Airbus

El nuevo dron de Airbus está diseñado para utilizarse en la entrega de repuestos o suministros en lugares como zonas portuarias. Tiene una capacidad de carga de 4 kilogramos y puede volar de forma autónoma hasta una distancia de 3 kilómetros. Puede realizar las entregas seis veces más rápido que otros sistemas y reducir hasta un 90% el costo del servicio. Las dimensiones de este dron son de 242 centímetros de diámetro.

Número 6: OnyxStar HYDRA-12



Imagen 16: Dron de la compañía OnyxStar

Diseñado para cargas útiles pesadas, el HYDRA tiene 12 motores, lo que le permite transportar hasta 12 kg de carga útil efectiva. Equipado con electrónica de vuelo, el HYDRA-12 es una herramienta potente, confiable y eficiente. Fabricado en carbono, el HYDRA-12 incluye numerosas características que lo convierten en un dron seguro y fácil de volar.

Número 7: ALLTECH KWT-Z4M-H



Imagen 17: Dron de la compañía ALLTECH

El KWT-Z4M-H es un dron muy maduro y económico, multifuncional y polivalente. Tiene una buena resistencia al viento, a prueba de lluvia, soporte de control manual preciso y vuelo autónomo de la ruta, con largo tiempo de vuelo. Tiene una duración de vuelo de unos 50 minutos y alcanza hasta una velocidad de 15 m/s. Puede soportar una carga de hasta 3 kilogramos y puede volar hasta una altitud de 5 kilómetros.

Número 8: Aerocámaras AeroHyb



Imagen 18: Dron de la compañía Aerocámaras

Es un dron que combina electricidad y gasolina marcando un antes y un después en la industria de los drones. Con capacidad para trasladar una carga de hasta 5 kilogramos durante dos horas y habilitado para operar en todo tipo de sectores. Tiene hasta 7 horas de autonomía. Uno de los puntos fuertes es su capacidad para mantenerse en vuelo mínimo dos horas con su carga máxima.

Número 9: Volocopter VoloDrone



Imagen 19: Dron de la compañía Volocopter

Se trata de un enorme dron con un total de 18 rotores en su parte superior. Estos 18 rotores repartidos en una circunferencia de 9,2 metros de diámetro le permiten elevar una carga de 200 kilogramos. Si se habla de autonomía, este modelo puede recorrer una distancia de 40 kilómetros con velocidades máximas de hasta 110 km/h. Sus medidas son de algo más de 9 metros de diámetro y 2,3 metros de altura.

Número 10: SCR Atlantic I



Imagen 20: Dron de la compañía SCR

El Atlantic I es un sistema aéreo no tripulado de medio alcance y alto rendimiento que ha sido especialmente diseñado para misiones ISTAR: reconocimiento, localización de objetivos, vigilancia e inteligencia. Tiene una altura de 3,8 metros y una longitud de 2,8 metros. Puede elevar una carga útil de hasta 5 kilogramos a una velocidad de 110 km/h y tiene una autonomía de 5 horas de vuelo.

5.3. Decisión final

Para tomar la decisión final de cuál es el mejor dron para el proyecto, se presenta la siguiente tabla resumen en la cual se presentan todas las opciones mencionadas y se analizan según los requisitos que han de cumplir.

Dron/ Requisito	Peso de la carga [kg]	Autonomía [min]	Tamaño	Sistema de carga	Estabilidad	Rango de autonomía	Espacio para el paquete
1	3	29	Medio	Eléctrico	Media	Media	No
2	30	60	Grande	Eléctrico	Media	Alta	No
3	2	20	Medio	Eléctrico	Media	Media/Alta	Si
4	6	65	Medio	Eléctrico	Media	Media	No
5	4	35	Grande	Eléctrico	Media	Baja	No
6	12	40	Grande	Eléctrico	Alta	Media	No
7	3	50	Medio	Eléctrico	Media	Media	No
8	5	120	Grande	Híbrido	Media	Alta	No
9	200	24	Muy grande	Gasolina	Media	Media	No
10	5	300	Muy grande	Gasolina	Media	Alta	Si

Tabla 2: Tabla resumen de los drones elegidos

Una vez se ha analizado la tabla, se puede observar que, de entre todas las opciones, hay varias opciones interesantes de drones que se adaptan a la perfección a las limitaciones del proyecto, pero el dron de Matternet es que se a escoger como elección final. En el siguiente apartado, se especifica el porqué.

5.4. Matternet M2 Drone

Como se ha observado en el punto anterior, de todos los drones analizados, se ha escogido al Matternet, aunque no es el mejor de entre todas las opciones cuando se habla de requisitos ya que muchos de los otros drones presentados cumplen algunos requisitos mucho mejor que el dron seleccionado.

En este punto, se dará hincapié del porqué se ha escogido el Matternet M2 Drone para este proyecto ya que no solo se ha escogido por su tamaño, autonomía y características de carga, sino por todas las prestaciones que aporta para hacer un que el servicio sea lo más eficiente posible.

El tamaño del dron es el perfecto para que, en caso de accidente, los daños sean los mínimos posibles. Puede llevar paquetes como los descritos en el apartado de limitaciones tanto por su peso como por su tamaño. La autonomía es más que suficiente para poder hacer varios trayectos sin ningún inconveniente y su rango de autonomía es más que suficiente para llegar a la distancia máxima descrita. Además, lleva integrado un paracaídas para que, en caso de accidente, se active para reducir los daños.

Aparte de todo lo mencionado anteriormente, tiene integrado un espacio para insertar una caja donde poder introducir objetos. Esto es perfecto ya que ayudará a proteger la mercancía y que esta llegue en un buen estado al cliente. También cabe destacar que no se tendrá que modificar la estructura del dron para poder añadir un sistema de transporte.

Si todo lo mencionado anteriormente ya es interesante de por sí, más lo es la Matternet Station. Esta una estación diseñada por la misma empresa con una gran cantidad de ventajas para el dron. La estación, sincronizada con los drones y el resto del sistema de la empresa, evita que otros drones se acerquen mientras uno está aterrizando o despegando de la estación. También calcula la ruta a seguir por el dron para evitar conflictos aéreos.

Cada una de las estaciones ofrece un total de cuatro cajas de carga útil que depositar. Las cajas se mantienen a una temperatura adecuada según las condiciones que requiera el contenido de la caja que transportan y, la estación de forma automática, se encarga de hacer la carga o descarga de la caja.

Indica la compañía que también es posible por parte de los clientes rastrear la ubicación de las cargas y, mediante un código o llave de seguridad, recogerlas de la estación o depositar nuevas. Los drones se desplazan de estación a estación de forma autónoma. Una vez aterriza en una nueva estación la estación automáticamente esta cambia la batería del dron para ofrecerle de nuevo la autonomía máxima de vuelo.

Por todos estos motivos se considera que el Matternet M2 Drone sería el más apropiado para el proyecto que se está planteando en este trabajo. A continuación, se adjunta una imagen de la Matternet Station:



Imagen 21: Estación para el dron Matternet M2

6. Sistema energético auxiliar

6.1. Fuentes de energía

Para poder aumentar la autonomía del dron, se propone hacer un estudio para ver la viabilidad de implantar un sistema auxiliar de energía renovable para que, mientras se realiza el transporte, se vaya cargando la batería del dron.

Teniendo en cuenta el tamaño del dron y a las condiciones que estará sometido, la única fuente de energía renovable más viables serían la energía solar fotovoltaica. La energía eólica se descarta ya que la energía obtenida mediante este tipo de fuente depende al 100% de la longitud del aspa del molino y, en este caso, siempre tendrá un tamaño muy pequeño por lo que no se podrá optimizar.

La única otra opción que se podría plantear a parte de la energía fotovoltaicas y la eólica es la instalación de un banco de baterías, pero, teniendo en cuenta que cada vez que el dron llega a una de las estaciones esta se cambia, no sería muy productivo ya que el peso de estas baterías podría afectar al funcionamiento del dron. Es por eso que se considera la energía solar fotovoltaica como la mejor y única fuente de energía auxiliar que se podría instalar en el dron.

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y que no contamina que se puede producir en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas.

Esta fuente es muy interesante ya que su instalación es muy sencilla y versátil y se puede adaptar a diferentes superficies y se podría instalar fácilmente en el dron que se ha seleccionado. Es una muy buena opción, pero hay que tener en cuenta las condiciones climáticas en el momento que este sale ya que, si no hay sol o la incidencia no es la correcta, esta no será útil.

A continuación, se muestra una imagen donde se puede ver un ejemplo de cómo se puede instalar un sistema de placas fotovoltaicas en un dron:



Imagen 22: Ejemplos de drones con placas fotovoltaicas

6.2. Estudio energético

Aunque ya se ha visto que la autonomía del dron es más que suficiente para poder hacer viajes a una gran distancia sin preocupaciones, en este punto, se quiere hacer un análisis para ver la rentabilidad de una la instalación de paneles fotovoltaicos para aumentar su autonomía del dron ya que, en un futuro no muy lejano, el rango de vuelo autónomo del dron será mayor y será interesante saber si realmente es viable hacer una instalación de este tipo.

La energía solar fotovoltaica es una energía que cuando se genera, sirve para el consumo del dron y, el exceso, se almacena en una batería solar. Durante el día, las placas reciben la radiación solar y la convierten en electricidad que se va almacenando en la batería que forma parte de la propia instalación y que se utilizará durante la noche o durante los días de poca generación de energía solar.

Sabiendo esto, se requiere que estas placas fotovoltaicas puedan, como mínimo, asegurar un trayecto de 5 kilómetros más cuando el dron está en funcionamiento (lo que equivaldría al rango máximo de autonomía que se ha impuesto por el momento).

Para eso, primero de todo se necesita saber cuál es la superficie útil donde se puede instalar las placas fotovoltaicas y la potencia de la batería que se necesita para que el dron se desplace durante 5 kilómetros. Una vez se ha obtenido esta información, se buscará cuáles son las placas fotovoltaicas que mejor se ajusten.

Las dimensiones del Matternet M2 Drone sin los propulsores abiertos es de 80x80x26 centímetros, la cual hará que la superficie útil donde poder instalar las placas fotovoltaicas sea de 6400 cm² (0,64 m²). Se elige esta superficie ya que es la que no varía en ningún momento tanto si el dron está en funcionamiento como si no lo está, por lo que se tendrá una superficie fija donde instalar dichas placas.

Según las especificaciones del comerciante, la potencia de la batería del dron es de 4500 mAh, lo que quiere decir que el dron consume una potencia de 31,5 W por hora para poder mover el dron en las condiciones deseadas, ya que el voltaje del dron es de 7 V. Sabiendo que el tiempo máximo de vuelo del dron es de 20 minutos y que en ese tiempo puede llegar a recorrer 20 kilómetros (velocidad aproximada de 60 km/h), se puede deducir que la potencia que se necesita para volar durante esos 20 minutos es de 10,5 W. Sabiendo esto, y mediante una regla de tres, se puede suponer que la potencia necesaria para que el dron se pueda mover durante los 5 kilómetros extras será una cuarta parte de la calculada anteriormente, por lo que obtenemos una potencia necesaria es de 2,625 W.

Una vez ya se ha calculado la potencia necesaria para hacer volar al dron durante 5 kilómetros, se procede a realizar los cálculos para conocer cuál es el rendimiento que tienen que tener las placas fotovoltaicas para poder obtener la potencia deseada.

Pero, para eso, hay que saber que hay tres factores muy importantes que supondrán un problema en este estudio: la radiación solar, la orientación de las placas solares y el ángulo de incidencia de los rayos. Dependiendo de estos factores, la potencia que se obtiene irá variando, hasta el punto en que la potencia que se puede obtener es cero y en este caso en concreto, ninguno de estos tres factores se puede controlar.

Cuando se habla de la orientación y el ángulo de incidencia de los rayos de sol, estos dependen de la trayectoria que sigue el dron para poder llevar la mercancía a su destino y para poder modificarlo, sería necesario una plataforma que fuera cambiando la orientación y ángulo de las placas fotovoltaicas para poder hacer que estas sean las más óptima posible en todo momento.

Esto es prácticamente imposible ya que haría que se encarezca mucho el proyecto ya que, aparte de la instalación en sí, se tendrían que instalar muchos sensores para saber la situación en la que se encuentran las placas en cada momento y cuál es la posición óptima.

A continuación, se presenta la fórmula para poder calcular dicho rendimiento que se necesita para saber que placas son las más apropiadas para que proporcionen la potencia deseada dependiendo de la radiación solar escogida anteriormente:

$$Potencia = \frac{Radiación_{desfavorable} * Rendimiento_{placa} * N^o_{placa} * Superficie_{placa}}{(Factor_{seguridad} + 1)}$$

Donde se obtiene el rendimiento de las placas fotovoltaicas ha de ser de:

$$2,625 W = \frac{1919,44 \frac{W}{m^2} \cdot X \cdot 1 placa \cdot 0,64 m^2}{0,1 + 1} \rightarrow X = 0,235\%$$

Esto quiere decir que, suponiendo que tanto la orientación como el ángulo de incidencia de los rayos de sol sean los idóneos, las placas fotovoltaicas necesitan tener un rendimiento igual o superior al valor encontrado.

Según los resultados obtenidos, se puede observar que es posible hacer la instalación sin ningún tipo de inconveniente ya que el rendimiento es muy pequeño, pero, como ya se ha comentado, realmente esta situación es muy poco probable que se cumpla ya que dependiendo de la trayectoria del dron habrá situaciones en que las placas fotovoltaicas no estén ni encaradas a los rayos de sol o que los rayos de sol no indican en estas.

Es por eso que, después de todos los cálculos realizados y analizando bien la situación, se puede afirmar que, por el momento, no sería viable la instalación de placas fotovoltaicas en el dron para aumentar su autonomía. Eso es debido a que la instalación supondría un coste que, sin tener en cuenta que sea elevado o no, no se podría amortizar ya que raramente se podría aprovechar esta energía y teniendo en cuenta que, en las mismas estaciones que ha diseñado la empresa, se cambian la batería después de cada trayecto, es improductivo hacer la instalación ya que es coste innecesario.

7. Estructura para transportar los paquetes

No solo se necesita el dron para poder llevar el paquete a su destino, sino que también es necesario un recipiente donde poder colocar la mercancía. En este proyecto en concreto, el dron escogido ha sido el Matternet M2 Drone, el cual ya incluye un espacio para introducir dicha caja para poder transportar los objetos a transportar.

Aunque la empresa ya haya diseñado una caja, la intención de este proyecto es diseñar otra caja para poder imprimirla mediante tecnología de impresión 3D para poder conseguir un recambio de manera rápida y sencilla en cualquier momento en caso de rotura o de deterioro.

Hay que tener en cuenta que se transportarían diferentes tipos de productos, es por eso que se quiere diseñar un recipiente que tenga una doble capa que sea intercambiable. La primera capa va a ser el objeto de estudio de este proyecto, que será la capa exterior y será la que estará en contacto con el exterior protegiendo el producto de las condiciones exteriores, y la segunda, que se adaptará según el tipo de mercancía que se transporta, que sería como el relleno de la caja y que se podría intercambiar según la situación.

Esta segunda capa se adaptaría según el tipo de mercancía que se quiera transportar, haciendo que la mercancía siempre transporte en las condiciones óptimas. Si por ejemplo un hospital necesita transportar alguna muestra a otro hospital y esta tiene que estar en unas condiciones de temperatura y humedad determinada, esta segunda capa asegurará de que dichas condiciones se cumplan. Esta segunda capa, por el momento, no se analizará y se dejará para posibles futuras mejoras, pero se realiza el diseño de la caja pensando en esta idea.

7.1. Diseños existentes

Aunque en este punto del proyecto ya se conoce cómo va a ser la estructura de transporte para los paquetes que llevará el dron seleccionado para este proyecto, se quiere dar énfasis a los diseños ya existentes ya que si, en un futuro, este proyecto cambia o se requiere de otro diseño para poder aumentar la variedad de productos que se quieren transportar, se pueda tener una idea de que otros diseños que se podrían utilizar según estos nuevos requisitos.

Es por eso que, en este punto, se describirán otros diseños con diferentes estructuras para poder cargar mercancías en los drones. Por lo general, casi todos los diseños que se han diseñado por el momento son muy similares, aunque hay algunos que desentonan por su creatividad.

A continuación, se presentan algunos ejemplos y se explica en que consiste su diseño:

Diseño 1:



Imagen 23: Ejemplo 1 de como podría transportar un paquete un dron

Este es el diseño más común en los sistemas de transporte por dron actuales. Como se puede ver, es un sistema es muy sencillo, en el que la caja que va literalmente colgando. La mayoría de empresas se decanta por esta opción ya que es la más sencilla y práctica, aunque afecta a la aerodinámica del dron.

Diseño 2:



Imagen 24: Ejemplo 2 de como podría transportar un paquete un dron

Como se puede observar, este tiene un diseño mucho más moderno y estético. Su diseño también es muy sencillo ya que consiste en una cúpula donde el paquete está en el interior y esta le protege de posibles efectos que podrían estropear el paquete como alguna condición meteorológica, algún ave pequeña o cualquier otro inconveniente. También influye bastante en la aerodinámica del dron.

Diseño 3:



Imagen 25: Ejemplo 3 de como podría transportar un paquete un dron

Este caso es una mezcla de los dos ejemplos anteriores, pero con la diferencia de que el que protege el paquete es una caja que está rodeada por el mismo dron, teniendo una doble protección.

Este diseño es como el del dron que se ha seleccionado como dron del este proyecto. Es un gran sistema de transporte ya que aporta estabilidad y protección al mismo tiempo y no influye en la aerodinámica del dron.

Aunque estos diseños son los más comunes, hay una gran infinidad de alternativas. El uso de estas se debe a que estas son las que son más seguras y cómodas. También son las que tienen un diseño mucho más sencillo y que, en cierto modo, estorban lo mínimo al vuelo del dron pudiendo hacer bien su función: transportar la mercancía sin que esta sufra ningún desperfecto.

7.2. Primer diseño

Para poder realizar un buen diseño, primero hay que entender cómo funciona el mecanismo de agarre del Matternet y las dimensiones exactas del recipiente para poder realizarlo.

El sistema de agarre del Matternet consiste en un mecanismo que, cuando se aprieta la parte superior de la caja con la parte interior del hueco disponible para ella en el dron, se despliegan cuatro pivotes que sujetan la caja y que se introducen dentro de la caja mediante unos agujeros especialmente diseñados para sujetar la caja. Estos pivotes tienen una longitud de unos 4 centímetros. En el lateral del dron hay un botón para hacer retroceder dichos pivotes para poder extraer la caja. Gracias a la Matternet Station, la operación de colocación y extracción de la caja se realiza de forma automática.

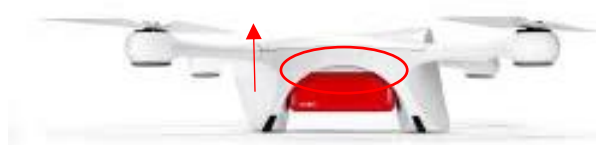


Imagen 26: Ejemplo de como se introduce la caja en el dron

El espacio útil de la caja, según las especificaciones del producto, es de 19x11x13 centímetros, lo que quiere decir que este dron puede transportar objetos con unas dimensiones iguales o inferiores a las especificadas, lo cual es conveniente ya que supera el tamaño de 15x10x10 centímetros que se ha propuesto para el proyecto.

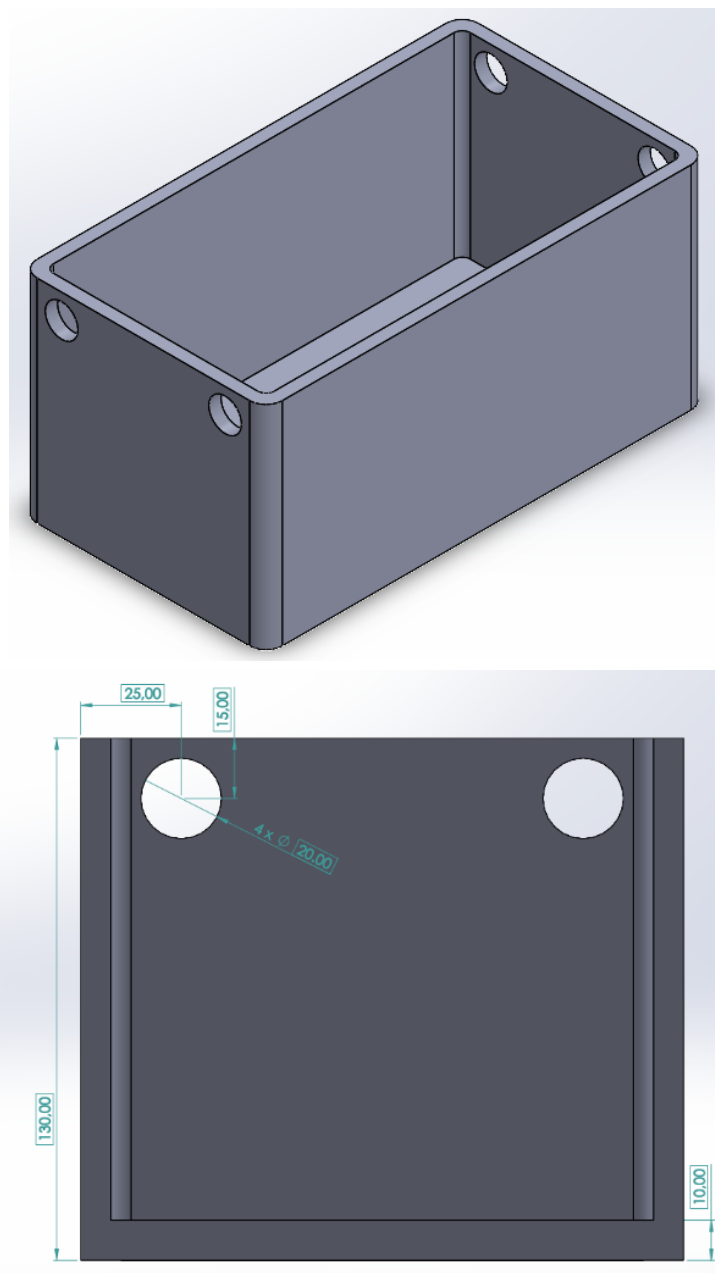
Sabiendo esto, se pretende diseñar la caja para que sea segura y que pueda cargar holgadamente un paquete con las dimensiones mencionadas anteriormente, sin que la mercancía este muy apretada ya que, en caso de que el espacio fuera el justo, podría afectar a las condiciones en las que llega el producto.

La caja que se va a diseñar tiene, en un primer momento, unas dimensiones de 27x15x15 centímetros teniendo en cuenta la tapa y que el grosor de esta es de unos 7,5 milímetros. Los agujeros donde van los pivotes que soportan el recipiente tienen un diámetro de 2 centímetros y están colocados en la cara que tiene una longitud de 15 centímetros y a una distancia de 1,5 centímetros desde la parte alta de la caja (sin tapa) y 2,5 centímetros desde el lateral.

Teniendo esta información, se procede a hacer un primer diseño para tener una primera idea. Después, se procederá a hacer un análisis de los materiales para saber cuál sería mejor utilizar y, finalmente, se procedería a realizar las mejoras que se crean convenientes para resistir condiciones adversas o evitar un deterioro precoz para el diseño final.

A continuación, se muestran unas imágenes de este primer diseño, tanto de la caja como de la tapa.

Primer diseño:



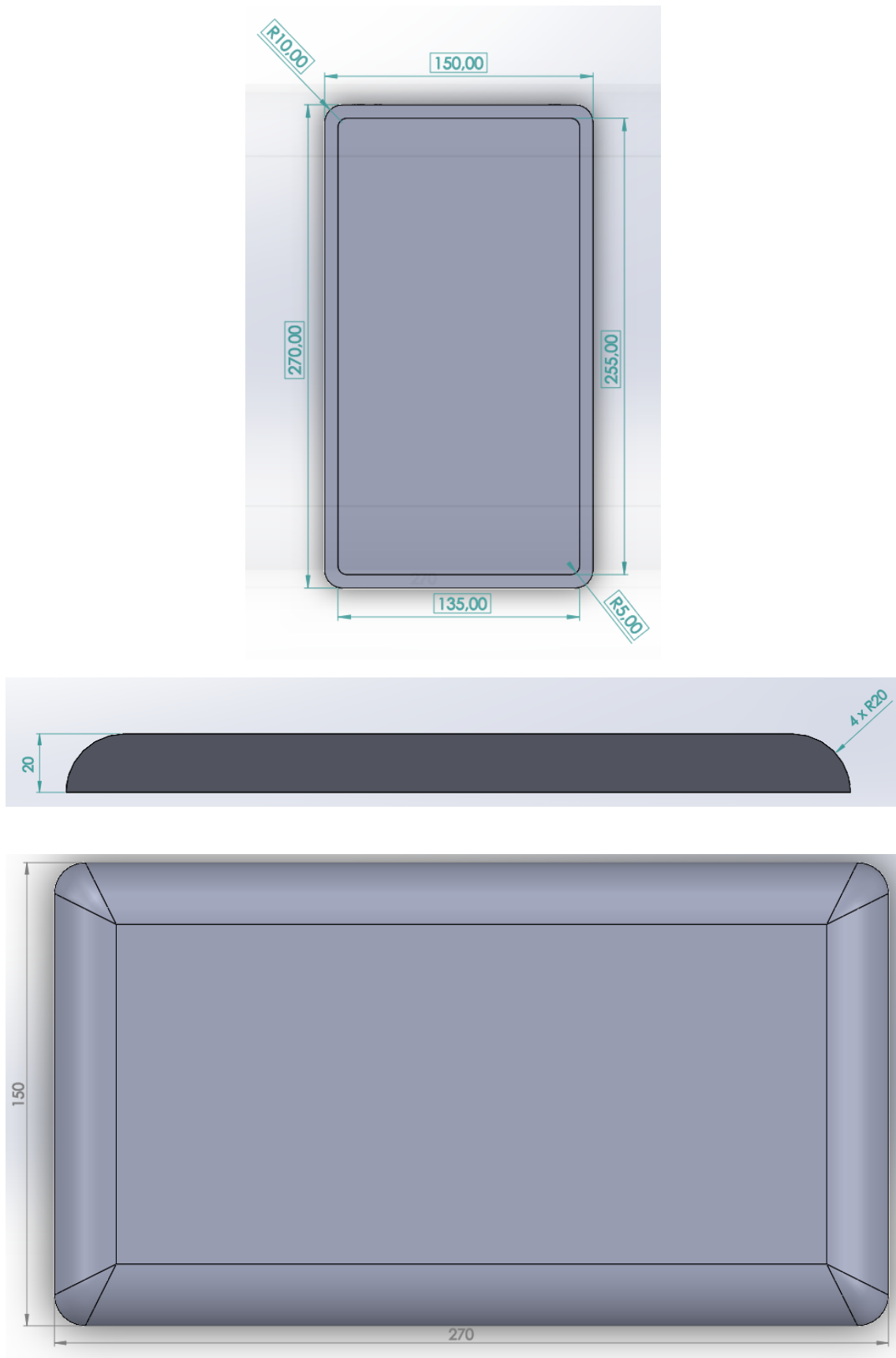


Imagen 27: Imágenes del primer diseño de la caja

7.3. Materiales para la estructura

Una vez se tiene este primer diseño, el siguiente paso es hacer la elección del material. Para poder escoger el material se tendrá en cuenta los puntos que se mencionan a continuación:

- La tecnología de impresión 3D tiene que poder usar ese material.
- Ha de soportar las fuerzas que se ejercen sobre ella, sin sufrir deformaciones excesivas o roturas.
- Ha de ser buen material en relación su calidad con el precio. Tiene que aguantar las fuerzas a un precio razonable.
- Ha de ser reciclable.

Para hacer el análisis, se aplicarán diferentes fuerzas a la caja para ver cómo se comporta la caja según diferentes materiales y esto más los puntos comentados anteriormente, se hará la decisión de cuál es el mejor material. Las fuerzas que se aplicarán a la caja son:

- Para simplificar el estudio, se le aplicara a la parte superior una fuerza constante equivalente al peso de la tapa.
- Un peso equivalente al peso de la carga que se llevará (2 kilogramos) en el suelo del interior de la caja.
- Una fuerza en uno de los laterales que equivaldría a la fuerza que haría el viento en caso de que soplará con una fuerza moderada. Para eso se considerará que la fuerza que ejerce el viento sobre el objeto será de fuerza 4 según la escala de Beaufort (equivalente a un viento de una velocidad de entre 20 y 29 km/h). Para velocidades más grandes el dron ya no podría volar en buenas condiciones.
- Fijación en la parte superior de los agujeros que sería equivalente a la fuerza que sentiría la caja de los pivotes que la aguantan.

El siguiente paso es buscar los materiales que se crea que pueden cumplir con las condiciones impuestas. Como se ha comentado, se utilizará la tecnología de impresión 3D, por lo que los materiales han de poder utilizarse en la actualidad para este tipo de tecnología. Después de hacer un análisis del mercado actuales, se presentan cuáles podrían ser los mejores candidatos junto con las propiedades más relevantes:

Termoplásticos:

La mayoría de las impresoras 3D utilizan un filamento de material termoplástico, el cual durante la impresión sale derretido del extrusor y luego se endurece a medida que se enfría. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas de Van der Waals débiles (polietileno), fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso, anillos aromáticos apilados (poliestireno). Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente van disminuyendo estas propiedades al debilitar los enlaces.

Resinas:

Las resinas son los materiales más limitantes y, por lo tanto, menos utilizados en la impresión 3D. En comparación con otros materiales aplicables en 3D, la resina ofrece una flexibilidad y resistencia limitadas. Hecho de polímero líquido, la resina alcanza su estado final con la exposición a la luz ultravioleta. La resina se encuentra generalmente en las variedades negra, blanca y transparente, pero también se han producido algunos impresos en naranja, rojo, azul y verde.

Polvos:

Las impresoras 3D más modernas de hoy en día utilizan materiales en polvo para construir sus productos. En el interior de la impresora, el polvo se funde y se distribuye en capas hasta obtener el espesor, la textura y los patrones deseados. Los polvos pueden provenir de varias fuentes y materiales. Son muy comunes los polvos de poliamida (nylon) y la de alúmina.

Metales:

Son el segundo material más popular en la industria de la impresión 3D, que se utiliza a través de un proceso conocido como sinterización láser de metal directo o DMLS. Esta técnica ya ha sido adoptada por los fabricantes de equipos de viaje aéreo que han utilizado la impresión en 3D de metales para acelerar y simplificar la construcción de los componentes. El metal puede producir una gama más fuerte y posiblemente más diversa de artículos cotidianos.

De entre todas las opciones mencionadas anteriormente, se considera que la mejor opción en cuanto sencillez, precio y rendimiento son los termoplásticos. Esto se debe a que con este tipo de material ya se puede conseguir el objetivo que se desea sin ningún inconveniente ya que es resistente a parte de que su precio es muy razonable. De las otras opciones, las resinas se descartan ya que no son una buena opción debido a su resistencia limitada. Es cierto que tanto los polvos como los metales son una muy buena opción, pero, la tecnología y los materiales que usan son mucho más costoso y complicados de utilizar, por lo que se selecciona a los termoplásticos como la mejor opción.

De todos los termoplásticos que hay actualmente en el mercado, los más utilizados son: el PLA, el ABS y el PETG. Para decidir entre estas tres opciones, se explicará brevemente cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno de estos materiales y después se hará una simulación con cada uno de estos materiales aplicando este a la pieza para poder analizar su resistencia según las condiciones que se han mencionado anteriormente.

PLA: El PLA es un termoplástico biodegradable que se deriva de recursos renovables, como la maicena, la caña de azúcar, las raíces de tapioca o incluso la fécula de patata. Este es bastante duro pero un poco quebradizo una vez que se ha enfriado. Su umbral de temperatura es inferior al del ABS, ya que el PLA se extrude normalmente alrededor de 160°C-220°C.

Una vez que se calienta, el PLA emite un ligero olor, mejor descrito como maíz dulce, pero no emite humos como el ABS calentado. El PLA se puede lijar y se puede pintar con pintura acrílica, pero algunas personas recomiendan usar una imprimación. Sin embargo, el encolado de PLA no es tan fácil como el encolado de ABS.

Sus principales inconvenientes son que no soporta demasiado calor, ya que el PLA estándar se ablanda alrededor de los 50°C. Por otro lado, se puede considerar esto como una ventaja para reparar, doblar o soldar fácilmente las piezas impresas. Generalmente se considera como el material más fácil de trabajar cuando se empieza a imprimir.

ABS: El ABS se utiliza hoy en día en una gran variedad de aplicaciones en la industria. Generalmente es muy duradero y fuerte, ligeramente flexible y bastante resistente al calor. Las impresoras 3D capaces de procesar plásticos ABS normalmente funcionan con un extremo caliente a una temperatura de entre 210 y 250°C. Por lo tanto, una impresora 3D capaz de procesar ABS está necesariamente equipada con un lecho de impresión calentado, con el fin de evitar la deformación o el agrietamiento de los materiales impresos.

El material es adecuado para una gran variedad de propósitos, especialmente porque puede ser fácilmente lijado (para alisar los objetos impresos y eliminar los bordes dentados) y pintado. Las piezas impresas o rotas se pueden pegar simplemente con cola ABS y es fácilmente soluble en acetona.

Pero también tiene algunas desventajas. En primer lugar, se trata de un plástico no biodegradable a base de petróleo que, sin embargo, puede reciclarse. Otro problema es que el ABS crea humos (leves) que pueden irritar a las personas más sensibles. El ABS también puede deteriorarse por la exposición prolongada a la luz solar.

PETG: El tereftalato de polietileno es el plástico más utilizado en el mundo y es ampliamente utilizado en procesos de termoformado y puede combinarse con fibra de vidrio para crear resinas que se utilizan en el mundo de la ingeniería.

La impresión en 3D con PETG ofrece un resultado que da a los materiales un aspecto claro, menos quebradizo y más fácil de usar. Tiene un alto nivel de durabilidad y es por esto lo convierte en la elección perfecta para una amplia gama de usos. También es conocido por ser un material excepcionalmente fuerte y esto lo hace ideal para aquellos objetos que serán sometidos a esfuerzos mecánicos. Es duro, flexible y resistente, gran parte de lo cual se puede atribuir a la forma en que se adhiere a cada capa.

Imprimir con PETG trae consigo muchos beneficios y, en realidad, no hay demasiadas desventajas. Sin embargo, hay algunas pequeñas desventajas que vale la pena mencionar. Como el material es brillante, es propenso a rayarse, mientras que la luz UV puede hacer que el material se debilite. Encontrar los ajustes correctos para la impresión puede tomar algún elemento de prueba y error. A pesar de esto, una vez que se identifican los ajustes correctos, la impresión se vuelve muy sencilla.

Una vez se han presentado los termoplásticos que se consideran candidatos para la construcción de la caja, a continuación, se expone una tabla donde se puede ver las propiedades mecánicas y el precio de cada uno de los materiales. Esta tabla será de gran utilidad para las futuras simulaciones.

Material/ Propiedades	Modulo elástico [MPa]	Coefficiente de Poisson [Pa]	Densidad [kg/m ³]	Límite de tracción [MPa]	Limite elástico [MPa]	Precio [€/kg]
PLA	3450	0,39	1245	58,5	63,5	20
ABS	2250	0,41	1110	41,4	34,8	17
PETG	2950	0,41	1370	50,5	69,1	21,5

Tabla 4: Tabla resumen de las propiedades mecánicas de los materiales a analizar

Una vez se conocen las propiedades mecánicas de cada material, se proceden a hacer las simulaciones. Hay que tener en cuenta varios factores antes de realizar las simulaciones:

- La fórmula que se aplica para calcular la fuerza del viento es: $F(N) = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot v^2 \cdot \rho_{aire} \cdot S$. Donde C_x es una constante de valor igual a 1 ya que el viento es perpendicular a la superficie, la densidad del aire es 1,29 kg/m³, la velocidad es de 6,81 m/s (24,5 km/h) y S es la superficie de contacto que es de 0,0405 m². Sabiendo todo esto, se conoce que la fuerza para este caso en concreto que ejerce el viento sobre el lateral de la caja es de 1,21 N.
- El objeto de este análisis es ver por encima como afectan las diferentes fuerzas que están afectando al contenedor, es por eso que el mallado que se realizará será uno estándar. Este tamaño es el que, el mismo programa, considera óptimo.

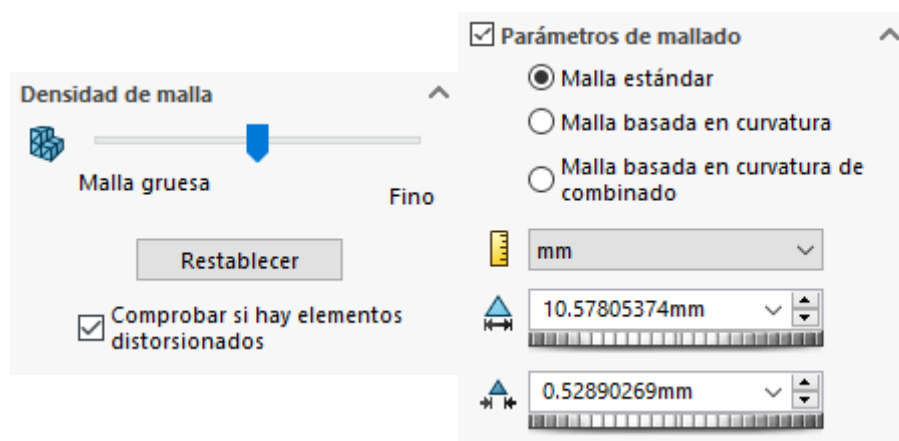


Imagen 28: Especificaciones del mallado que se va a realizar

- Hay que tener en cuenta que la fuerza de la tapa varía según el material ya que la densidad varía dependiendo del material que se use.
- Para que las propiedades de la tabla sean correctas, el relleno (infill) de la pieza ha de ser del 100%.

Una vez se han mencionado los matices anteriores, se procede a enseñar los resultados de las simulaciones realizadas según el material.

Simulación PLA:

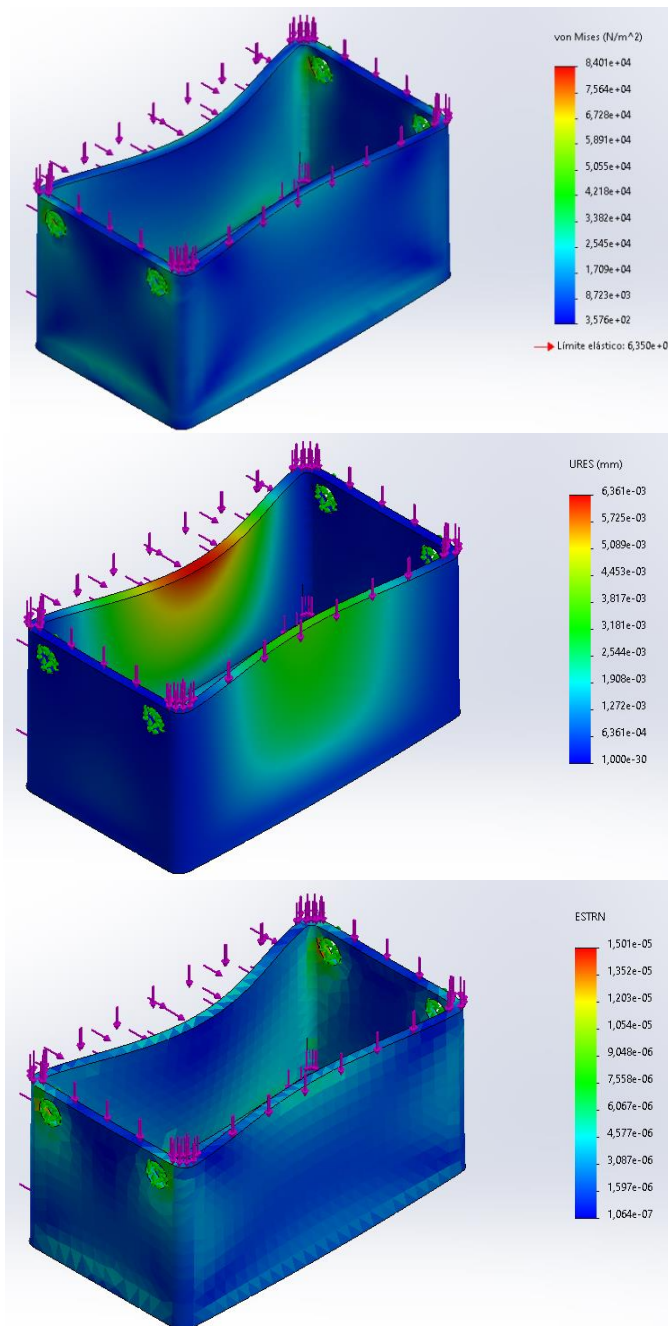


Imagen 29: Simulación de la caja con el material PLA

Simulación ABS:

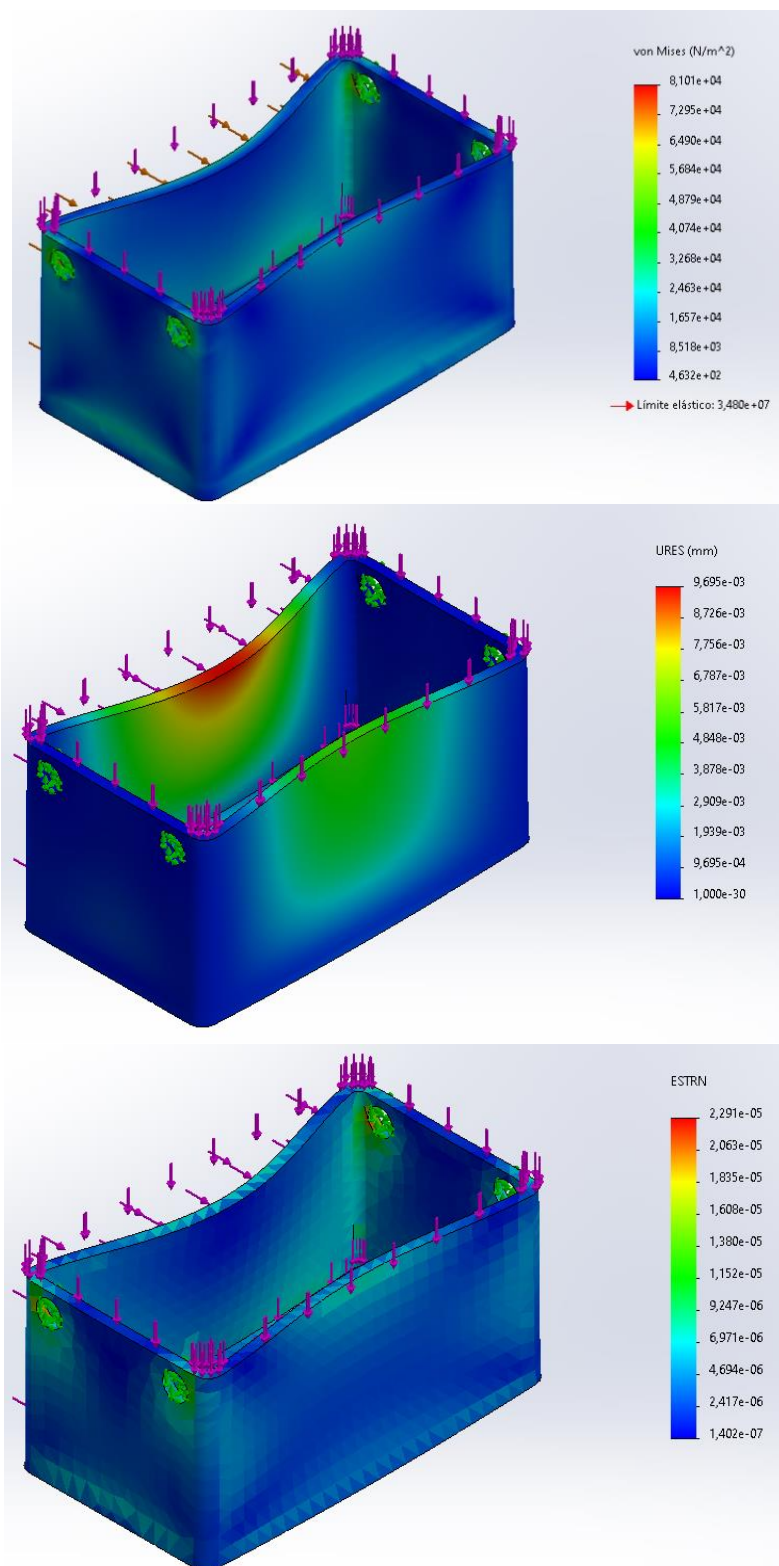


Imagen 30: Simulación de la caja con el material ABS

Simulación PETG:

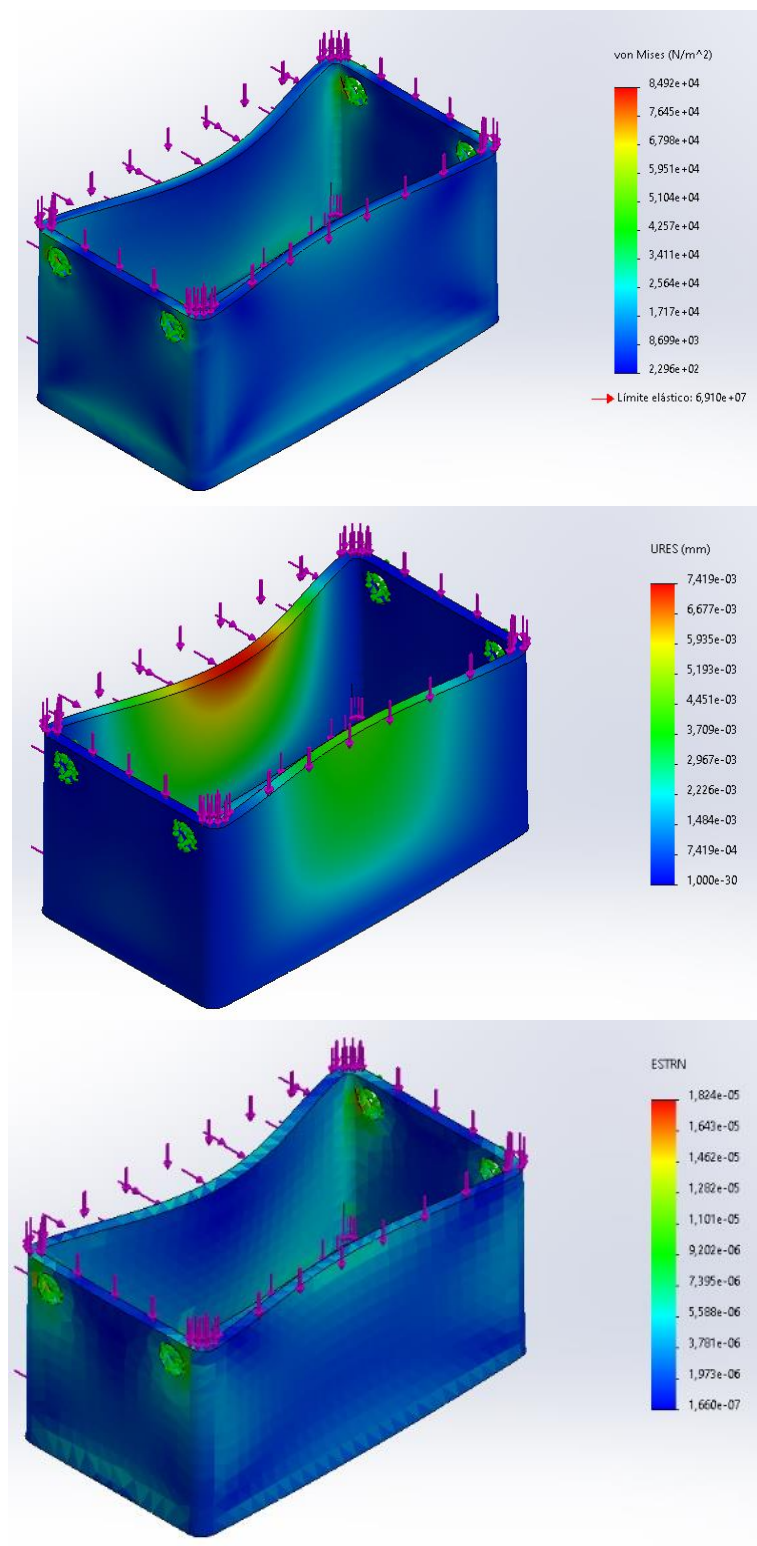


Imagen 31: Simulación de la caja con el material PETG

Hechas las simulaciones con los materiales que eran candidatos, se procede a hacer la selección de cuál sería el material que más conviene para el proyecto. Viendo los resultados y conociendo los materiales los cuales se han descrito sus ventajas y desventajas anteriormente, se decide que el material a usar para la caja sea el PLA.

Eso es debido a que, una vez analizados los resultados obtenidos, realmente todos son aptos para este diseño cuando se habla de resistencia y durabilidad, pero hay otros factores que afectan a la decisión.

Es cierto que tanto el PETG y el ABS son materiales muy utilizados en la actualidad, pero el PLA es biodegradable al revés que sus competidores. También destacar que el PLA tiene mejores propiedades térmicas y que no se desgasta con la radiación solar. En términos de costes todos tienen un coste muy similar.

Por estos motivos se decide escoger el PLA como material para este proyecto.

7.4. Diseño final

Una vez se ha analizado la caja con el material que se usara para su construcción y observando cómo le afectan las fuerzas que se aplican sobre esta, se propone un nuevo diseño en el cual se fortalecerán los puntos donde los valores de las deformaciones y tensiones sean mayores, aunque hay que destacar que tanto las tensiones como las deformaciones ya son pequeñas y no tendrás un gran efecto en la pieza.

También se quiere poner el cierre para poder cerrar la caja y para eso, se necesita hacer un hueco para poder poner ahí el cierre de la caja. El tipo de cierre se recomienda que sea seguro y que sea difícil que se abra por casualidad. A continuación, se presenta un ejemplo de cierre para la caja:



Imagen 32: Ejemplo tipo de cierre

Mirando las fotos del análisis hecho con PLA, se puede observar que los puntos más perjudicados serían el lateral donde se le aplica la fuerza del viento y el suelo que soporta el peso del producto que serían los puntos donde son mayores las deformaciones y en los agujeros que es donde se obtiene el valor más alto de las tensiones. A continuación, se muestran unas imágenes donde se puede observar lo que se acaba de explicar:

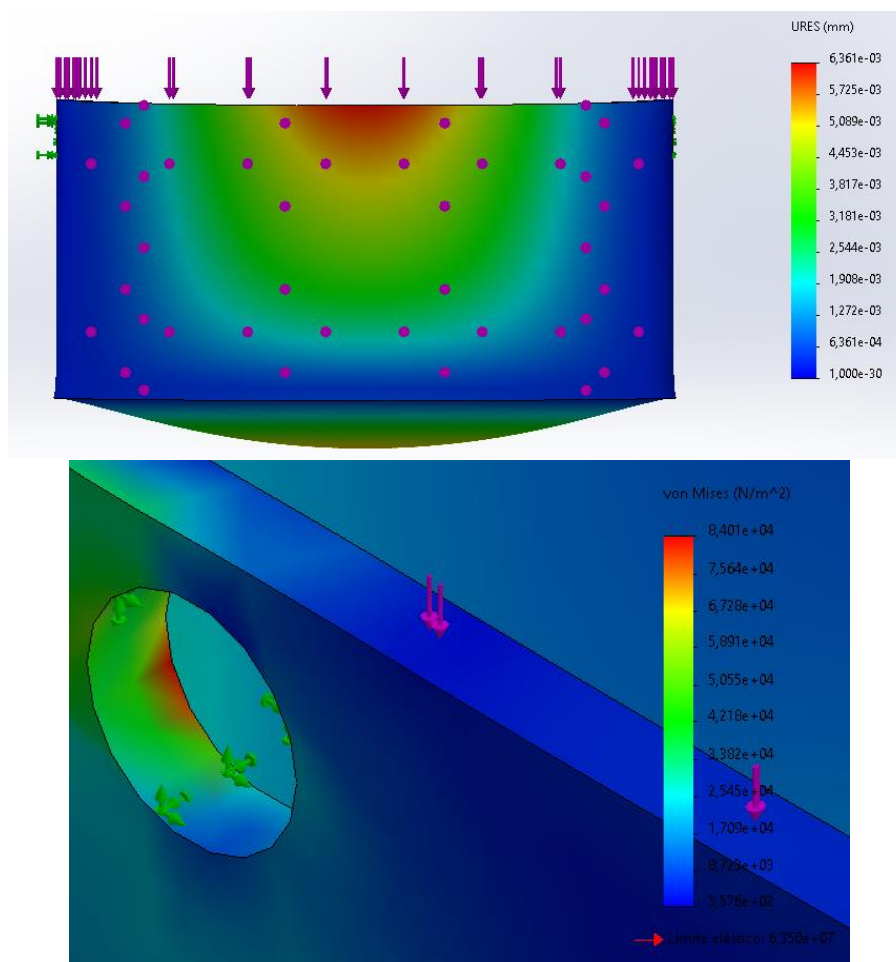
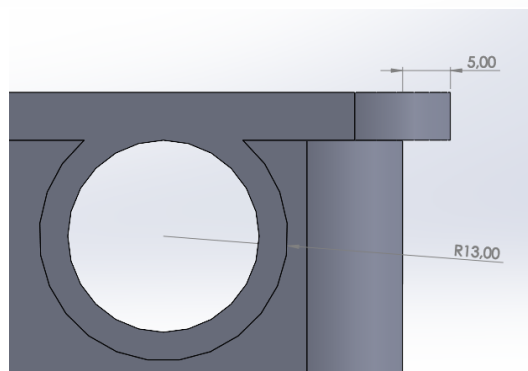
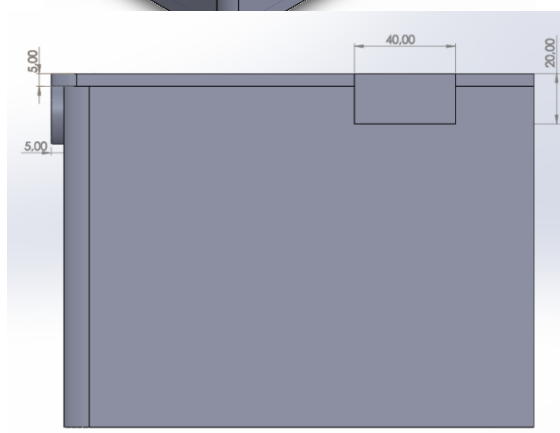
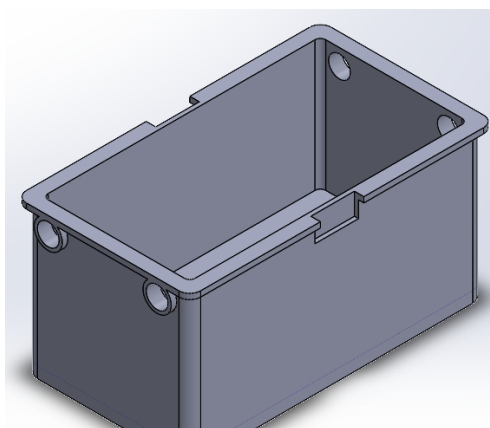


Imagen 33: Imágenes de los puntos donde las deformaciones y tensiones son mayores

Visto esto, se decide hacer mejoras del primer diseño para poder reducir tanto la tensión en los agujeros como las deformaciones en el lateral donde sopla el viento y en el suelo de la caja.

Es cierto que los valores de deformación y tensión son muy pequeños, pero se desea hacer esta mejora para evitar problemas con el desgaste más adelante.

Como se observa en las fotos que se mostraran a continuación, se ha decidido añadir más material en las zonas más afectadas. Se ha realizado en los agujeros una adición de 5 milímetros de material en un radio de 13 milímetros (3 más que el original), se ha aumentado la altura de la caja añadiendo 1 centímetro más de material en la base para que pudiera soportar mejor el peso, se ha ampliado la superficie donde se coloca la tapa para distribuir mejor el peso y se ha añadido el hueco para poder introducir el cierre. Se mantienen las dimensiones de la primera tapa ya que el diseño del dron impide modificar esta y se le incluye un hueco para la instalación del cierre como a la caja de las mismas dimensiones. El diseño final de la caja tendría este aspecto:



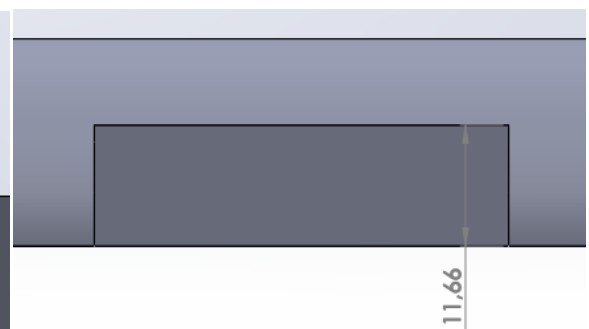
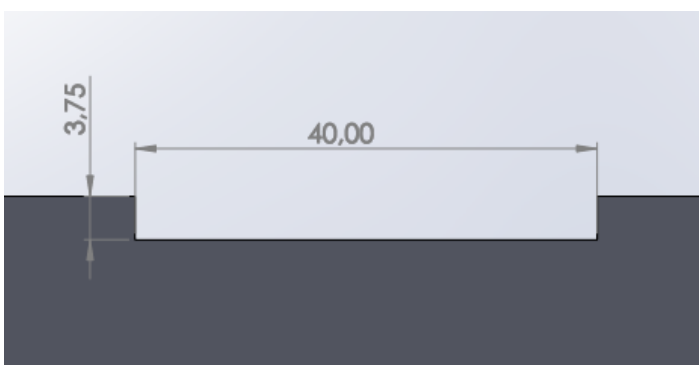
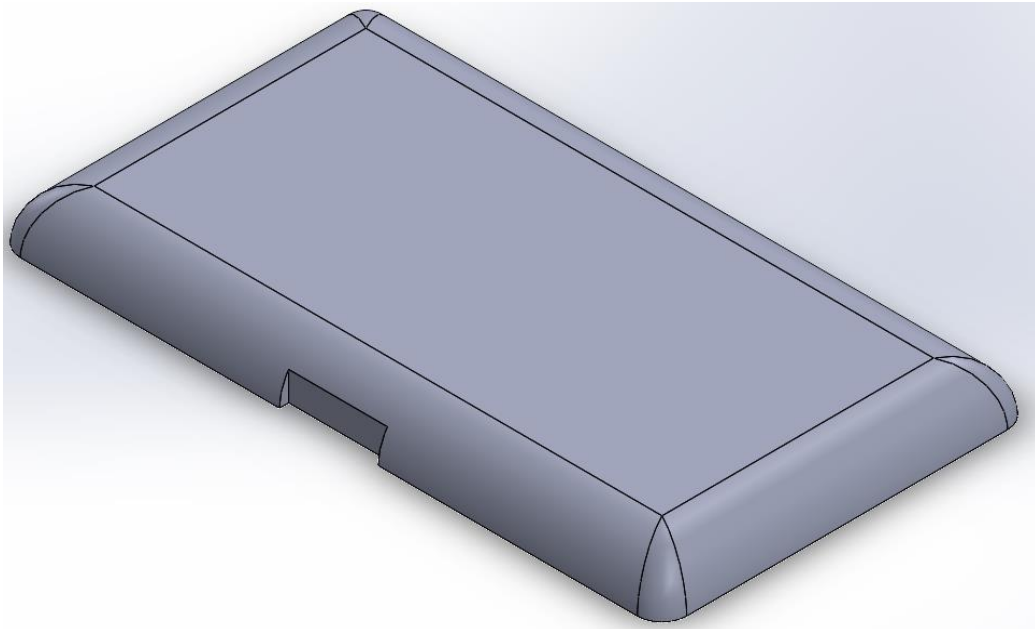
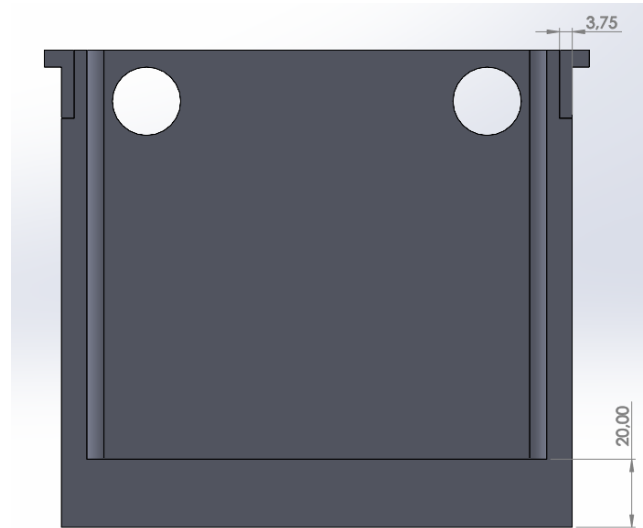


Imagen 34: Imágenes de los puntos donde las deformaciones y tensiones son mayores

A continuación, se muestra la simulación de este nuevo diseño en el se puede observar que se ha conseguido reducir (en algún caso a la mitad) tanto las tensiones como las deformaciones máximas por lo que se considera que este diseño final es más óptimo que el inicial.

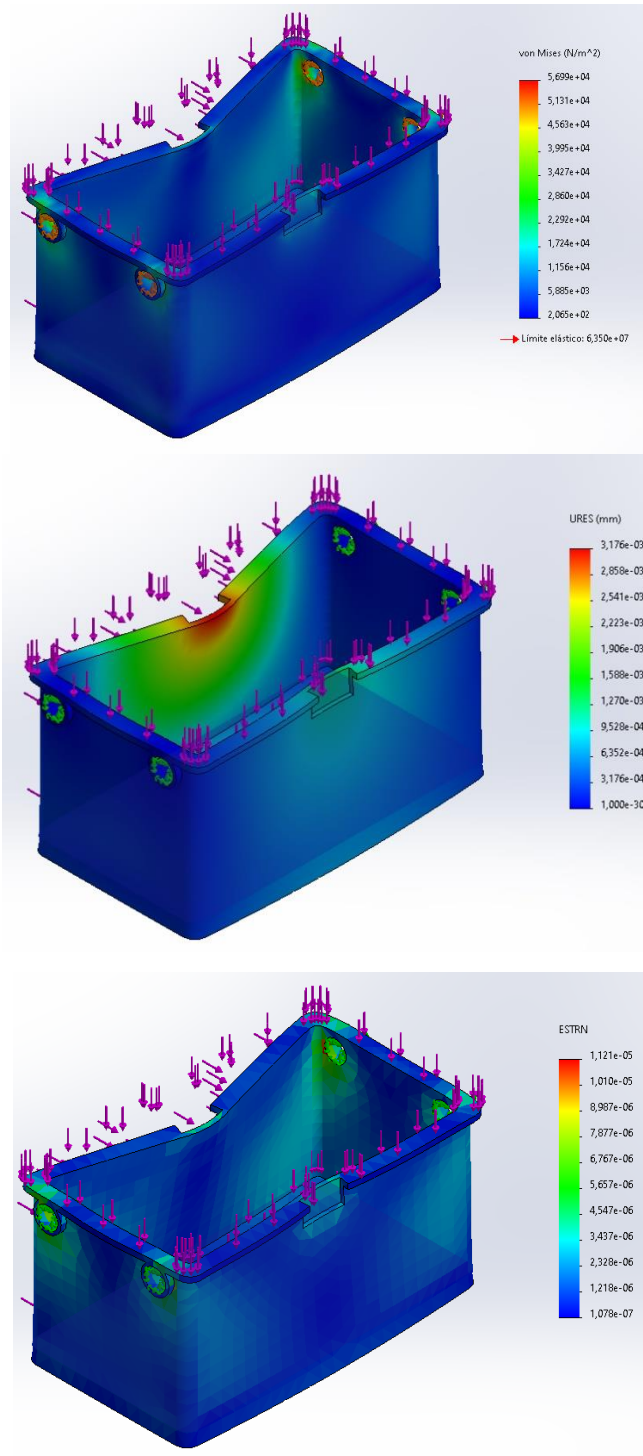


Imagen 35: Imágenes de los puntos donde las deformaciones y tensiones son mayores

8. Logística

Una vez se han tratado los puntos explicados con anterioridad, hay otro punto muy importante del que hablar: la logística del servicio. Para definir totalmente este proyecto, no solo se necesita saber cómo se va a transportar la mercancía, sino que también hay que saber cómo se hará la entrega de esta.

En este punto, se hablarán de las diferentes posibilidades que se han pensado para realizar el servicio del proyecto.

Opción 1: Transporte a la puerta de casa

Esta es la opción más cómoda y la más tentadora, pero es difícil de ejecutar, eso es porque depende de la zona donde se haga la entrega. Muchas de las compañías que se ha mencionado con anterioridad que están haciendo pruebas llevan el producto a la casa del cliente o en algún espacio abierto en el que se localiza el cliente.

Como se puede observar, en zonas donde el cliente se localiza en espacios grandes y abiertos es posible esta opción, pero, en de Barcelona, esta opción es poco probable ya que la gran mayoría de la población vive en un bloque de pisos y no todos disponen de algún espacio al aire libre como una terraza para hacer el aterrizaje.

Eso quiere decir que el dron tendría que hacer de repartidor: llegar al edificio, dar el aviso de que ya ha llegado y esperar a que le vinieran a buscar el paquete. También habría que tener en cuenta que ningún otro transeúnte pudiese apropiarse del contenido del dron ya que este tendría que estacionarse en la calle.

Todos estos factores podrían perjudicar la calidad del servicio y dando una mala imagen de cara al cliente, es por eso que se descarta esta opción.

Opción 2: Transporte de estación a estación

Esta puede que sea la opción más viable y por la cual se ha escogido al Matternet como dron para este proyecto. Como se ha comentado, la empresa Matternet ha diseñado la Matternet Station que dota a su dron de varias ventajas que son muy beneficiosas para el proyecto.

En esta opción, se pretende que el dron salga del almacén y se vaya desplazando de estación en estación que están colocadas a una distancia máxima de 5 kilómetros entre ellas para que, una vez se ha entregado el paquete, vuelva al almacén siguiendo la misma ruta para realizar el siguiente transporte.

Para el cliente puede que esta no sea la opción más práctica ya que tendría que desplazarse hasta la estación para ir a buscar el paquete, pero es la opción más viable dada la situación actual. Este servicio está pensado para transportar un determinado tipo de objetos y, normalmente, para situaciones de urgencia por lo que, en caso de necesitar algún producto urgentemente que no sea de fácil acceso, el cliente solo se tiene que desplazar una distancia considerablemente corta ya que, al tener que instalar estaciones cada 5 kilómetros, siempre tendrá alguna estación más cerca de su vivienda y de esta manera poder adquirir el producto en tiempo récord.

De esta opción salen dos alternativas:

1. La primera sería que se crearan zonas especializadas con una gran cantidad de estaciones donde, mediante una identificación, el mismo cliente fuera a la estación y adquiriera su producto que le estaría esperando en esta especie de torre.
2. La segunda es muy similar, pero en vez de crear una zona con estaciones, se abrirían tiendas donde solo hubiera una estación y un encargado que se ocuparía de coger los paquetes y el cliente solo tendría que ir a recogerlo (tipo Correos).

Ambas opciones son válidas, aunque, si se habla de precio, puede que la más rentable sería la primera, ya que no se añadiría el coste del alquiler del local ni el sueldo de ninguna persona para que se hiciera cargo de los pedidos que fueran llegando ya que el mismo cliente se encargaría de identificarse en su respectiva estación mediante una app en la cual te indica que ya ha llegado el pedido y en que estación se encuentra pudiendo recoger el paquete el mismo cliente.

Teniendo en cuenta como se ha planteado el proyecto, esta opción sería la más conveniente de las dos en cualquiera de las dos alternativas.

9. Seguridad

Aunque estos vehículos plantean una revolución en el ámbito de la mensajería, los riesgos ante su despliegue masivo son evidentes, y organizaciones como la FAA estadounidense están siendo especialmente cautas a la hora de conceder permisos para que empresas como Google, Amazon con Prime Air o Walmart -dos de las que más están apostando por esta opción- realicen pruebas.

En 2019, la empresa suiza Swiss Post llevaba ya cerca de un año adelantada al futuro ya que, gracias a su colaboración con la fabricante de drones Matternet, habían puesto en marcha un servicio de mensajería con estos vehículos aéreos no tripulados.

Todo parecía ir bien con más de 3.000 vuelos ejecutados con éxito desde enero, pero a finales de ese mes se produjo un primer accidente que detuvo las pruebas hasta abril. Más adelante, se produjo otro accidente en mayo con un dron estrellado cerca de un grupo de personas, lo que hizo que Swiss Post suspenda el servicio de forma indefinida.

Aunque parezca muy obvio, hay que destacar que la seguridad es uno de los puntos más importante a la hora de empezar un proyecto el cual interacciona con personas ya que, en caso de que hay algún error, las consecuencias podrías ser nefastas ya que podría herir a alguna persona.

Es por eso, que en este punto se quiere tener en cuenta algunos de los aspectos del proyecto que hacen que este sea lo más seguro posible.

El Matternet, como ya se ha comentado, es un dron ideal para proyectos como este ya que tiene muchas características que son beneficiosas, pero también hay que destacar que, hablando de la seguridad, también tiene instalada tecnología que puede ser útil para el proyecto.

Este dron tiene un rastreador para conocer su posición en todo momento lo cual es útil para poder saber cuándo llega el paquete, pero también para poder ver si este se ha accidentado o no ya que, si no está estacionado en una de las estaciones quiere decir que ha habido algún mal funcionamiento.

También tiene instalado un paracaídas para que, en caso de avería, este se activa para frenar la caída del dron. Aunque ya se ha mencionado, este dron, cuando llega a una de sus estaciones, este cambia su batería para que no haya ningún inconveniente durante su siguiente trayecto y, aunque la autonomía de este sea de 20 kilómetros, al tener un rango de autonomía limitado a 5 kilómetros esto asegurará que cuando un dron inicie su trayecto, siempre tendrá su carga al máximo.

La sujeción de la caja es muy importante y es por eso que se ha querido hacer un buen diseño de la caja ya que, si se rompiera, podría causar accidentes. Por eso se ha hecho un análisis tan exhaustivo de los materiales y se han analizado las fuerzas que ejercen sobre esta para asegurar de que no hay posibilidad de accidente.

A parte de todas las características del dron diseñadas para que el sistema sea lo más seguro posible, hay que tener en cuenta que habrá que tener un control de los drones para ver que todo funciona correctamente. Igual pasará con todas las estaciones, baterías y cajas que estén en funcionamiento. Es por eso que se pretende contratar a personal especializado para que vaya haciendo controles periódicos.

10. Presupuesto

Una vez ya se ha analizado el dron que se va a utilizar para el proyecto y como se realizará el transporte, solo queda hablar del coste que supone el proyecto. En este primer análisis, se va a centrar en el análisis del coste que supondría la realización de las pruebas para comprobar que el sistema funciona correctamente.

Hay que tener en cuenta que la empresa Matternet se ha especializado para poder dar soporte a proyectos como el expuesto en este trabajo por lo que un usuario corriente no puede ni comprar el dron ni la Matternet Station y sumando que los proyectos que la empresa está apoyando como los de Swiss Post o Ups en la actualidad están realizando pruebas y se desconoce mucha información, esto provoca que se desconozcan los precios tanto del dron como de la Matternet Station. Es por eso que, según la información encontrada, se hará una suposición del coste que supondrá la puesta en marcha de este proyecto.

Para ello, se va a suponer que, al inicio, se consigue suministrar mercancías a los clientes que se localizan en los alrededores de la estación central en un radio de 5 kilómetros, el cual es el límite de vuelo autónomo del dron impuesto para este proyecto. Esto servirá para comprobar si realmente el sistema propuesto funcionaría correctamente.

El siguiente paso es saber el número de drones y de estaciones de las que se podría disponer. Para las estaciones, teniendo en cuenta que para comenzar se va a colocar solo una estación por zona y la distancia que se abarca es de una zona de 5 kilómetros de radio, en total se necesitarán 9 estaciones.

Para los drones, se considera que con 10 drones son suficientes para empezar con las pruebas. Hay que tener en cuenta que las características de los paquetes que el sistema puede transportar son muy específicos por lo que, hasta que no se conozca más el sistema, no se considera que se pueda llegar a saturar el sistema. También hay que tener en cuenta que, al tener 8 estaciones donde se realizarán los transportes (no se cuenta la estación central ya que esta es necesaria para el inicio del trayecto y la vuelta a almacén), con 10 drones se tiene para realizar un transporte a cada una de las 8 estaciones restantes y 2 extras para otros posibles pedidos mientras el resto de drones vuelve al almacén.

Una vez se conoce el número de drones y de estaciones que se tendrán en este primer análisis, se necesita saber el número de gente que estará involucrada en todo momento en el proceso tanto de mantenimiento como en el de logística.

Se considera que, en todo momento, se tendrá una persona encargada de ir colocando los paquetes en las cajas y luego esta caja en la estación, la cual esta misma colocará la caja en el dron. También indicará a la trayectoria que tiene que seguir el dron para poder llevar a su destino. Teniendo en cuenta que este servicio puede estar activo las 24 horas del día, se necesitará contratar 3 personas para que este servicio pueda llevarse a cabo.

Si se consigue formar a estas 3 personas para que obtengan conocimientos básicos sobre el dron para poder comprobar que el estado de este es el apropiado a la hora de iniciar su trayecto, se podría conseguir que la misma gente que de encarga de la logística sea la misma que haga el mantenimiento básico del dron (cambio de hélices, comprobar carga de la batería, etc.). Esta formación supondrá un coste asociado.

A parte del personal mencionado anteriormente, se necesitarán 2 personas extras que se encargarán de controlar que el funcionamiento de los drones y las estaciones sea el correcto y tomar las medidas necesarias en caso de que un dron o una estación se estropee. Se considera que, al inicio de este proyecto, el número de drones y estaciones es lo suficientemente pequeño para solo tener a dos personas encargándose del mantenimiento no tan básico de todos los aparatos involucrados en el sistema. Solo habría 2 turnos ya que, de madrugada, se espera que el flujo de transporte sea mínimo. El formar a este personal también supondrá un coste adicional.

Una vez se tienen claros los que serán los participantes del sistema, se hará el cálculo aproximado del coste que supondría poner en marcha este proyecto. Se diferenciarán dos tipos de costes: la inversión inicial del proyecto y el coste mensual. El primero servirá para conocer cuál es el capital que la empresa necesitará invertir para la instalación y formación del personal. El segundo sería el coste de mantener al personal que se encarga de la logística y mantenimiento. A continuación, se muestran las tablas donde se describe el coste total necesario:

Inversión inicial	Dolares [\$]	Euros [€]	Total [€]
Coste del dron	6250	5183,75	51837,5
Coste de la estación	50000	41474,85	373273,65
Coste del dron+estación			425111,15
Coste formación personal logística	1000	829,4	2488,2
Coste formación personal técnico	2000	1658,8	3317,6
Coste total de formación			5805,8
Coste total de la inversión			430916,95

Mantenimiento	Coste mensual [€/mes]	Total coste mensual [€/mes]	Total coste anual [€/año]
Sueldo personal logística	1199	3597	43164
Sueldo personal mantenimiento	2050	4100	49200
Coste salarial anual total			92364

Tabla 5: Tabla donde se especifica el presupuesto para la realización de las pruebas del proyecto

Como se puede observar, uno de los motivos por el cual podría hacer que el sistema no sea viable es por la gran inversión inicial que hay que realizar a la hora de comprar los drones, pero, sobre todo, para las estaciones. Aunque de primeras pueda parecer un coste muy desorbitado, realmente, como es un proyecto a largo plazo, el coste total del proceso disminuye notoriamente ya que se reduce el coste de sueldos a pagar a los repartidores los cuales ahora substituyes por drones.

Si se hacen cuentas, el salario de un repartidor Amazon es de 1199€ al mes por lo que, al año, supondría un coste total de 43164€. Como se puede observar, el coste de un repartidor al año equivale a una décima parte de la inversión a realizar para los drones, estaciones y formaciones y suponiendo que la instalación que se propone substituye el trabajo 5 trabajadores, en unos 2 años el proyecto se empezaría a recuperar la inversión. También hay que tener en cuenta que, si se hace un buen uso de ellas, los drones y estaciones pueden llegar a tener una vida útil bastante larga (unos 10 años aproximadamente).

Por eso, aunque parezca una gran inversión, la opción que se plantea es viable ya que esto es un proyecto a largo plazo y se acabará recuperando la inversión realizada.

11. Futuras propuestas de mejora

En este punto, se hablará de posibles mejorar o temas que se podrían implantar en el proyecto más adelante.

Lo primero de todo sería pensar en las denominadas carreteras aéreas. Al principio, el tráfico aéreo será menor, pero, más adelante, muchas empresas querrán implantar este sistema y es por eso que se plantea la idea de crear carreteras aéreas imaginarias por donde vuelen los drones sin peligro a colisionar con otros drones. Por ejemplo, que según la dirección a la que vuelen se les indique una altitud determinada y siempre a una velocidad constante para que no se produzca ningún adelantamiento para no provocaran ningún accidente aéreo por colisión, pudiendo herir algún transeúnte que vaya paseando por la zona del accidente.

Otro tema que se puede investigar sería la idea del “relleno” de la caja explicado anteriormente en el punto 7. Como ya se ha comentado, la idea de diseñar una caja e imprimirla mediante tecnología 3D es debido a que está pueda ser personalizable por la empresa tanto por fuera como por dentro, dando la oportunidad de llevar una infinidad de productos de forma fácil y rápida. Cuando se habla por dentro es porque, la empresa que usa el sistema lo desea, pueda añadir a la caja un relleno que, según la mercancía que se transporte y en las condiciones que se tenga que transportar, se pueda ir intercambiando. Por ejemplo, si se requiere que el objeto este totalmente inmóvil, se podría diseñar algún sistema para inmovilizar el objeto o si ha de mantener unas condiciones de humedad y temperatura pues añadir una capa que fuera hermética para no permitir intercambios de calor con el ambiente. Este cambio sería fácil de añadir y sería muy fácil de utilizar ya que solo se tendría que cambiar el interior de la caja dependiendo de las condiciones de transporte.

Por último, se podría hacer un estudio más exhaustivo del sistema energético auxiliar. En este proyecto ya se ha hablado de la posibilidad de instalar placas fotovoltaicas en el dron para poder aumentar la autonomía. Aunque sea un tema interesante de tratar, por ahora la tecnología a implantar sería demasiado costosa para el rendimiento que se le puede sacar y por eso se decide descartar. Si más adelante se decide retomar el proyecto, se podría hacer un estudio y realizar pruebas para ver si se puede conseguir la instalación de dicho sistema.

12. Conclusiones

Gracias al análisis realizado durante todo el proyecto se ha podido conseguir sistema de transporte mucho más rápido y eficiente al que existe actualmente gracias a la implantación de los drones al sistema.

Este nuevo sistema es mucho más rápido que el anterior ya no necesita de mucho control porque prácticamente todo funciona de manera autónoma. También se cumplen los requisitos de seguridad necesarios para poder llevarse a cabo el transporte sin ningún contratiempo, todo esto gracias a la tecnología que ha diseñado la empresa Matternet para su dron.

Aparte del objetivo principal, también se han conseguido cumplir otros objetivos como la de crear este proyecto con tecnología existente en el mercado actualmente. También se puede afirmar que el proyecto es innovador ya que incluye diferentes tipos de tecnología como los drones o la impresión 3D.

Finalmente, se ha hecho un estudio económico en el cual se tenía en cuenta la primera fase de este proyecto: la realización de pruebas para comprobar que el sistema realmente funciona. Es cierto que, en un primer momento, se pueda creer que la inversión necesaria para arrancar el proyecto es demasiado grande, pero, si se tiene en cuenta que es un proyecto a largo plazo y que el mantenimiento es prácticamente de seguimiento, se puede observar que realmente es mucho más económico este nuevo sistema.

En conclusión, este trabajo ha servido para poder analizar un mercado que está en constante crecimiento y descubrir diferentes maneras de aplicar diferentes tipos de tecnologías emergentes al día a día.

13. Bibliografía

Origen de los drones:

- https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_a%C3%A9reo_no_tripulado

Estado del arte:

- https://retina.elpais.com/retina/2019/05/20/innovacion/1558353858_252108.html
- https://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_Prime_Air
- <https://www.dronesw.love.es/el-futuro-de-los-drones-para-la-entrega-de-paqueteria/>
- <https://www.axdron.com/servicios-con-drones/trabajos-con-drones/transporte-y-logistica/>
- <https://flyzipline.com/company/>
- <https://www.todrone.com/20-primeras-empresas-servicios-drones-ranking-mundial/>

Elección del dron

- <https://www.youtube.com/watch?v=rw0wSVcdhVE>
- <https://www.dji.com/es/matrice600-pro?site=brandsite&from=nav>
- <https://es.bellflight.com/products/bell-apt>
- <https://mtr.net/product>
- <https://wingcopter.com/technology>
- <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2019/03/airbus-skyways-drone-trials-worlds-first-shoretoship-deliveries.html>
- <https://www.onyxstar.net/hydra-12/>
- <http://en.koweitai.com/kwtz4mh>
- <https://dronehibrido.com/es/>
- <https://www.volocopter.com/en/volodrone/>
- <https://scrdrone.com/producto-item/atlantic-i/>

Matternet

- [file:///C:/Users/34618/Desktop/Uni/TFM/Spesifikationen%20Matternet%20M2%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/34618/Desktop/Uni/TFM/Spesifikationen%20Matternet%20M2%20(1).pdf)
- <https://www.directindustry.es/prod/matternet/product-182355-1801036.html>

Matternet Station

- <https://www.xataka.com/drones/esta-estacion-sacada-pelicula-ciencia-ficcion-permite-despegar-aterrizar-drones-forma-autonoma>

Energías renovables

- <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

Radiación solar en Barcelona

- <http://icaen.gencat.cat/es/detalls/publicacio/Atlas-de-radiacio-solar-a-Catalunya-00003>

Selección del material

- <https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/>
- <https://sites.google.com/view/poliacidolactico-coma/poli%C3%A1ctido-l%C3%A1ctico/propiedades-del-pla>
- https://autofabricantes.org/wp-content/uploads/2020/05/TFG_JORGE-POZO-VILLAR.pdf
- <https://filament2print.com/es/copoliesteres-pet/735-petg-smartfil.htm>

Ejemplo de cerradura para la caja

- <https://www.leroymerlin.es/fp/12728926/cierre-para-caja-o-estuche-en-acero>

Seguridad

- <https://www.xataka.com/vehiculos/dos-accidentes-drones-mensajeros-swiss-post-provocan-suspension-esas-pruebas>

Presupuesto

- <https://www.engineeringforchange.org/solutions/product/matternet-m2/>
- <https://es.indeed.com/cmp/Amazon.com/salaries/Repartidor-a#:~:text=El%20sueldo%20medio%20que%20un,coincide%20con%20la%20media%20nacional>