



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TRABAJO DE FINAL DE GRADO

**TITULO DEL TFG: Movilidad Urbana Aérea. Aplicación de bus aéreo  
Barcelona-Madrid**

**TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Aeronavegación**

**AUTOR: Alba Muñoz Gil**

**DIRECTOR: Enric Pastor Llorens**

**FECHA: 24 de octubre del 2022**



**Título:** Movilidad Urbana Aérea. Aplicación de bus aéreo Barcelona-Madrid.

**Autor:** Alba Muñoz Gil

**Director:** Enric Pastor Llorens

**Fecha:** 24 de Octubre, 2022

## Resumen

El rápido crecimiento de población en zonas urbanas causa una gran congestión en el transporte actual, aumentando el tráfico por carretera. En consecuencia, la creación de un medio de transporte es necesario para poder garantizar a la población un desplazamiento rápido, seguro y sostenible. La creación de la Movilidad Urbana Aérea (UAM) abre el tráfico al cielo con el uso de las aeronaves eVTOL (electric Vertical Take-off and Landing) cuya distancia recorrida se produce en menor tiempo en comparación de los medios de transporte terrestre.

El presente trabajo explica los retos que debe conseguir la UAM y los servicios que pueden ofrecer dichas aeronaves que, aparte de ofrecer un servicio de taxi, incluyen servicios sanitarios, de rescate, de reparto de paquetes y medicinas y de extinción de incendios. Además, se presentan las infraestructuras necesarias y sus características y se expone la contaminación acústica generada por los aviones eVTOL. Después de tener aclarados los conceptos necesarios para el éxito de un servicio UAM, se estudia un caso práctico que se basará en el servicio de un bus aéreo que traslade a 40 usuarios de Madrid a Barcelona en tan solo una hora.

El caso práctico se centrará en la creación de un vertipuerto (infraestructura necesaria para el despegue y aterrizaje de las aeronaves) adecuado para las ciudades de Madrid y Barcelona, además de la elección de un vertipuerto de emergencia ubicado en la ciudad de Zaragoza. Por un lado, se analizarán meteorológicamente las zonas para detectar alguna posible limitación que dificulte el diseño de la infraestructura. Por otro lado, con las características de la aeronave se diseñará una pista con sus áreas de seguridad adecuadas. Y, por último, se implementarán distintas ayudas para facilitar el uso de la infraestructura.

Los resultados del trabajo incluyen el diseño gráfico de las infraestructuras y de las ayudas visuales necesarias.

**Title:** Urban Air Mobility. Barcelona-Madrid air bus application.

**Author:** Alba Muñoz Gil

**Director:** Enric Pastor Llorens

**Date:** October 24<sup>th</sup>, 2022

## Overview

Rapid population growth in urban areas is causing major congestion in today's transport system, increasing road traffic. Consequently, the creation of a means of transport is necessary in order to guarantee fast, safe and sustainable travel for the population. The creation of Urban Air Mobility (UAM) opens up traffic to the sky with the use of eVTOL (electric Vertical Take-off and Landing) aircraft whose distance travelled is shorter compared to ground transport.

This paper explains the challenges to be met by the UAM and the services that can be offered by these aircraft, which, apart from offering a taxi service, include health, rescue, parcel and medicine delivery and fire-fighting services. In addition, the necessary infrastructures and their characteristics are presented and the noise pollution generated by eVTOL aircraft is explained. After having clarified the concepts necessary for the success of a UAM service, a practical case is studied based on the service of an air bus that transfers 40 users from Madrid to Barcelona in just one hour.

The case study will focus on the creation of a vertiport (infrastructure necessary for the take-off and landing of aircraft) suitable for the cities of Madrid and Barcelona, in addition to the choice of an emergency vertiport located in the city of Zaragoza. On the one hand, the areas will be analysed meteorologically in order to detect any possible limitations that might hinder the design of the infrastructure. On the other hand, with the characteristics of the aircraft, a runway will be designed with its appropriate safety areas. Finally, different aids will be implemented to facilitate the use of the infrastructure.

The results of the work include the graphic design of the infrastructures and the necessary visual aids.

# ÍNDEX

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. MOVILIDAD URBANA AÉREA.....</b>	<b>2</b>
1.1. <b>Plan de negocio .....</b>	<b>2</b>
1.1.1. Infraestructura.....	3
1.1.2. Certificación y leyes.....	4
1.1.3. Aceptación social.....	6
<b>CAPÍTULO 2. AERONAVES EVTOL .....</b>	<b>9</b>
2.1. <b>Tipos de eVTOL .....</b>	<b>9</b>
2.2. <b>Beneficios de los eVTOL .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 3. MERCADO DE LA UAM.....</b>	<b>14</b>
3.1. <b>Servicios de la UAM .....</b>	<b>14</b>
3.1.1. Taxi Aéreo .....	14
3.1.2. Ambulancia Aérea .....	16
3.1.3. Búsqueda y rescate .....	18
3.1.4. Extinción de incendios.....	19
3.1.5. Entrega de paquetes .....	20
3.2. <b>Costes de los servicios UAM y aeronaves eVTOL.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA TERRESTRE.....</b>	<b>25</b>
4.1. <b>Vertipuerto.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 5. RUIDO DE LOS EVTOL .....</b>	<b>30</b>
5.1. <b>Sistema de predicción de ruido eVTOL de Penn State.....</b>	<b>32</b>
5.1.1. Resultados del ruido determinista .....	33
5.1.2. Resultados del ruido de banda ancha .....	36
<b>CAPÍTULO 6. CASO PRÁCTICO. BUS AEREO BARCELONA – MADRID... 38</b>	
6.1. <b>Contexto del caso practico.....</b>	<b>38</b>
6.2. <b>Estudio meteorológico.....</b>	<b>40</b>
6.2.1. Barcelona.....	41
6.2.2. Madrid.....	43
6.2.3. Zaragoza.....	46
6.3. <b>Aeronave eVTOL.....</b>	<b>49</b>
6.4. <b>Diseño del vertipuerto.....</b>	<b>50</b>
6.4.1. Plataforma de despegue y aterrizaje (TLOF) .....	50

6.4.2.	Área de despegue y aproximación final (FATO) .....	50
6.4.3.	Área de seguridad (SA) .....	50
6.4.4.	Puestos de estacionamiento .....	51
6.4.5.	Calles de rodaje .....	52
6.4.6.	Edificio terminal .....	52
6.4.7.	Ayudas visuales del vertipuerto.....	54

**CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS ..... 58**

**BIBLIOGRAFIA ..... 59**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 VoloCity Volocopter [6].....	10
Figura 2.2 Joby Aviation S4 [7].....	11
Figura 2.3 Alia [8] .....	12
Figura 3.1 Coste por unidad en 5 años [12] .....	23
Figura 3.2 Coste clasificada por sus Componentes [12] .....	24
Figura 4.1 FATO y SA asociada [13].....	26
Figura 4.2 Ruta de rodaje por tierra y ruta de rodaje aéreo [13].....	27
Figura 4.3 Distancias mínima de separacion FATO [13].....	27
Figura 4.4 Esquema de la limitación de obstaculos [13] .....	28
Figura 4.5 Parámetros genéricos del procedimiento de despegue y aterrizaje vertical [13].....	29
Figura 5.1 Resultados de la percepción de ruido [5] .....	30
Figura 5.2 Resultados clasificados por ruidos conocidos y desconocidos [5] ..	31
Figura 5.3 Ruido a nivel de crucero. Angulo de cabeceo de 5° [14].....	33
Figura 5.4 Nivel de crucero. Angulo de cabeceo de 10° [14].....	34
Figura 5.5 Inicio de vuelo. Angulo de cabeceo de 5° [14].....	34
Figura 5.6 Inicio de vuelo. Angulo de cabeceo de 10° [14].....	34
Figura 5.7 Mitad del giro. Angulo de cabeceo de 5° [14].....	35
Figura 5.8 Mitad del giro. Angulo de cabeceo de 10° [14].....	35
Figura 5.9 Fase final del giro. Angulo de cabeceo de 5° [14] .....	36
Figura 5.10 Fase final del giro. Angulo de cabeceo de 10° [14] .....	36
Figura 5.11 Ruido de banda ancha [14] .....	37
Figura 6.1 Ruta de Madrid a Barcelona.....	40
Figura 6.2 Intensidad del viento de Barcelona [17] .....	42
Figura 6.3 Rosa de vientos de Barcelona [17].....	42
Figura 6.4 Cantidad de precipitación de Barcelona [17].....	43
Figura 6.5 Intensidad del viento de Madrid [18].....	44
Figura 6.6 Rosa de vientos de Madrid [18].....	45
Figura 6.7 Cantidad de precipitación de Madrid [18].....	46
Figura 6.8 Intensidad del viento de Zaragoza [19] .....	47
Figura 6.9 Rosa de vientos de Zaragoza [19].....	48
Figura 6.10 Cantidad de precipitacion de Zaragoza [19].....	48
Figura 6.11 Kelekona [20] .....	49
Figura 6.12 TLOF, FATO y Área de Seguridad .....	51
Figura 6.13 Plano del vertipuerto .....	54
Figura 6.14 Indicador de la dirección del viento [22] .....	55
Figura 6.15 Señal de identificación del vertipuerto [13].....	55
Figura 6.16 Señal de posicionamiento en el puesto de estacionamiento [13]..	56
Figura 6.17 Sistema de iluminación de aproximación [13] .....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Características de las aeronaves [12] .....	23
Tabla 4.1 Parámetros mínimos y máximos de el procedimiento de despegue y aterrizaje vertical [13] .....	29
Tabla 6.1 Temperatura media mensual de Barcelona [17].....	41
Tabla 6.2 Temperatura media mensual de Madrid [18].....	44
Tabla 6.3 Temperatura media mensual de Zaragoza [19].....	46
Tabla 6.4 Horario de vuelos .....	53



## LISTA DE ACRÓNIMOS

AAM	Advanced Air Mobility
AVE	Alta Velocidad Española
DEP	Distributed Electric Propulsion
DOC	Direct Operating Costs
EASA	European Union Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FATO	Final-approach and take-off areas
ICE	Internal Combustion Engine
LAANC	Low Altitude Authoritation and Notification Capability
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RTT	Research Transition Team
SA	Security Area
TLOF	Touchdown and lift-off area
UAM	Urban Air Mobility-Movilidad Urbana Aérea
UTM	Unmanned Aircraft Systems Traffic Manegement
VFR	Visual Flight Rules
VTOL	Vertical Take-off and Landing



## INTRODUCCIÓN

La densidad de población en las grandes ciudades está creciendo significativamente en los últimos años, con lo que se prevé que el 70% de la población mundial vivan en las zonas urbanas en el 2050. Este aumento de población desencadena un deterioro en la calidad de vida y la congestión en el tráfico terrestre [\[2\]](#).

La creación de la Movilidad Urbana Aérea crea una nueva aérea de transporte aéreo con el uso de las nuevas aeronaves eVTOL. Éstas pueden ser pilotadas o autónomas y deben garantizar un desplazamiento rápido, seguro y sostenible. Este aérea no está del todo definido, tanto por su certificación y normativas que deben de seguir las aeronaves, como por el impacto que tendrá en la sociedad. Se espera poder ser aceptado socialmente rebajando los costes y garantizando el transporte seguro. En consecuencia, la comercialización de las aeronaves eVTOL será efectiva de aquí a unos 10 o 15 años.

Este trabajo tiene como objetivo la creación de la infraestructura necesaria para un servicio de bus aéreo, con una capacidad de 40 personas, que une Madrid y Barcelona en tan solo una hora. Su estudio se basará en la meteorología y en la normativa para vertipuertos de la EASA [\[13\]](#). Los resultados incluirán un ejemplo gráfico de la infraestructura y sus ayudas visuales.

El capítulo 1 presentará la situación de la Movilidad Urbana Aérea y los retos y requisitos que debe conseguir para el éxito de su servicio. El capítulo 2 expone las aeronaves eVTOL, sus beneficios y los tipos de aeronaves que hay existentes en la actualidad. El capítulo tres explica los posibles servicios que puede ofrecer las aeronaves eVTOL, tanto de taxi, como de ambulancia o reparto de paquetes, y los costes que pueden conllevar. El capítulo 4 explica los diferentes tipos de infraestructura y sus características. El capítulo 5 explica uno de los requisitos a evitar más importantes de estas aeronaves, el ruido. Este capítulo se basa en un estudio realizado por Penn State. Por último, con todos los conceptos necesarios ya expuestos, en el capítulo 6 se estudiará el servicio del bus aéreo de Madrid a Barcelona.

# CAPÍTULO 1. MOVILIDAD URBANA AÉREA

En la actualidad, la gente que vive en ciudades supera la mitad de población ya que es donde se genera la mayor parte de la economía mundial, alrededor de un 80%. Sin embargo, la densidad de población en las ciudades va aumentando de manera que se prevé que, en el año 2050, cerca del 70% de la población viva en áreas urbanas [\[1\]](#).

Una densidad de población mayor conlleva una calidad de vida inferior, donde aparte de referirse al aumento de la pobreza, también contribuye en la mala calidad del agua y del aire. El aire se ve deteriorado por la necesidad del combustible que hace funcionar los vehículos que transportan personas y mercancías. Actualmente, un 30% aproximadamente de las emisiones de gases que causan el efecto invernadero proceden de los vehículos, gran parte del transporte por carretera.

Por tanto, uno de los retos para la movilidad urbana es la búsqueda de medios de transporte cuya tecnología sea más sostenible, de manera que el tiempo de desplazamiento sea menor. “Urban Air Mobility” (UAM) abre el tráfico al cielo ofreciendo una nueva forma de transporte con el uso de eVTOL (electric vertical take-off and landing). Con el uso de estas aeronaves, la distancia recorrida en un tiempo concreto será mayor que con cualquier otro vehículo terrestre.

Las operaciones en el mercado UAM se pueden diferenciar en dos tipos: viajes cortos dentro de la ciudad o viajes más largos entre ciudades. Dependiendo del tipo de mercado al que el inversor quiera dirigirse tendrá que tener en cuenta el diseño, desarrollo y fabricación de la aeronave eVTOL y del ecosistema donde volará.

## 1.1. Plan de negocio

Los servicios eVTOL aumentará de igual forma que el precio sea competitivo con el transporte terrestre. Además, será muy necesario una alta aceptación social de estos vehículos, en los que los usuarios confíen en su seguridad. Por tanto, puede hacerse posible la comercialización mundial de eVTOL en unos 10 a 15 años. A día de hoy, la simulación y pruebas de estos vuelos ya están en funcionamiento, con la posibilidad de empezar su comercialización en los próximos 5 años.

Además de la aceptación social, hay que estudiar los riesgos de infraestructura, toda la certificación necesaria para que las aeronaves eVTOL puedan volar con seguridad, la regulación del tráfico de dichas aeronaves y el impacto visual y ruido que causen. Hoy en día, la situación UAM no está del todo definido y hay que seguir con su estudio y de los puntos mencionados anteriormente para llevar a cabo el éxito de las aeronaves eVTOL.

No obstante, los desarrolladores de los aviones eVTOL están investigando sobre otras posibles aplicaciones y servicios ya que el transporte de pasajeros es un caso complicado de conseguir porque requiere todos los puntos mencionados anteriormente. Para estas nuevas posibles aplicaciones, NASA (National Aeronautics and Space Administration) ha creado el término llamado “Advanced Air Mobility” (AAM). La agencia se dedica a estudiar aplicaciones rurales y de transporte de carga con este tipo de aeronaves, eléctricas y autónomas [3].

### 1.1.1. Infraestructura

Para empezar, hay que diferenciar los diferentes tipos de infraestructuras necesarias para las aeronaves eVTOL. Además de la infraestructura terrestre donde la aeronave despegará y aterrizará, también es necesario los sistemas de gestión del espacio aéreo. En estas infraestructuras también deben dar servicio a los pasajeros y poder estar aparcados a su espera. Asimismo, los eVTOL son aeronaves eléctricas que necesitarán a su disposición una infraestructura de recarga [3].

Las principales infraestructuras terrestres son conocidas como vertipuertos y además debe adecuarse al diseño de la aeronave eVTOL. Por tanto, puede que el diseño de algún vertipuerto no pueda hacer frente a todo tipo de aeronave. En este caso, impediría las operaciones UAM ya que no todas las aeronaves podrían utilizar ese vertipuerto.

Las aeronaves eVTOL tendrán rutas por las zonas más populares de las ciudades y deberán de disponer de suficientes vertipuertos ubicados y diseñados de la manera más conveniente para el buen funcionamiento de las operaciones UAM. Por la parte de la gestión del espacio aéreo cada ciudad adoptará un enfoque distinto dependiendo de su mercado [1].

Por otro lado, se sabe que los eVTOL pueden estar también pilotados. En ese caso, estas aeronaves podrán aprovechar las infraestructuras ya existentes como los helipuertos.

Para empezar, se comenzará con un pequeño número de helipuertos y vertipuertos que puedan usar los eVTOL. Su crecimiento vendrá dado a medida del aumento de drones y de pasajeros. De esta forma, se irá expandiendo y elaborando nuevas infraestructuras de tal manera que puedas ofrecer una buena cobertura de servicios.

La expansión de infraestructuras se dividirá en tres fases [1]; la primera se denomina “Iniciación”, y en esta fase empezará con un número bajo de centros de transportes, empezando con ya existentes como los helipuertos; la segunda fase denominada “Expansión” constará de un aumento de rutas por la comunidad, con mayor número de vertipuertos y de drones de pasajeros; por último, la tercera fase se conocerá como “Elaboración”, donde se ampliará considerablemente el número de vertipuertos y drones. En esta última fase se

deberá garantizar que los vertipuertos sean accesibles a pie para todas las personas.

### 1.1.2. Certificación y leyes

Hasta la actualidad, Federal Aviation Administration (FAA) en Estados Unidos y European Union Aviation Safety Agency (EASA) en Europa, son las agencias reguladoras más importantes del mundo. La normativa que había para helicópteros o aeronaves pequeñas se podían utilizar para certificar los drones en prueba. Sin embargo, las aeronaves eVTOL no han tenido su propio sistema regulador hasta el 30 de junio de 2022, en el que EASA publicó la primera normativa para estas aeronaves [4]. Aun así, es necesaria una armonización similar entre Europa y Estados Unidos para que los eVTOL se lancen de una forma rentable.

EASA llama al tráfico aéreo urbano como “U-Space”. FAA, en cambio, lo denomina como Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM), gestionado juntamente con la NASA. Tanto EASA como FAA están estableciendo normas de gestión de tráfico, de la manera más concorde posible [2].

Sin embargo, FAA, en vez de crear normas regulatorias, está introduciendo construcciones iterativas como el servicio de Autorización y Notificación de Baja Altitud (LAANC). Además, también ha creado un Equipo de Transición de la Investigación (RTT). Este equipo sirve para transformar los conocimientos académicos en marcos operativos. Asimismo, se centra en el intercambio de datos y en su arquitectura. Para conseguir la implementación de estos retos, las empresas UTM realizan las pruebas con el Programa Piloto de la FAA y las pruebas de la NASA. Estas pruebas están dedicadas a la investigación de las tecnologías básicas de UTM [2].

Para cualquier tipo de operación, se pasa por un proceso regulatorio largo para obtener la autorización de esa operación. El proceso puede equivaler a unos cuantos años. Por tanto, las empresas deben tener a los empleados con las cualificaciones necesarias para conseguir la autorización de la manera más veloz y eficaz posible.

Además de la autorización de la operación, también existe el seguro de aviación, que en los últimos tiempos se ha convertido en un proceso difícil y caro de obtener.

La certificación necesaria para que una aeronave pueda volar consta de la organización de desarrollo de la aeronave, su producción, las operaciones, el servicio y la licencia del piloto.

Actualmente EASA [4] considera adecuado el uso de la normativa reglamentaria de los aviones y helicópteros, con modificaciones según los nuevos diseños de aeronaves, tipos de propulsión y los conceptos de operación.

Las aeronaves VTOL constarán de todos los equipos necesarios de navegación, comunicación, vigilancia, detección y evitación, sin lo cual no estaría en condiciones para su navegabilidad. Asimismo, sus operadores realizarán una planificación previa al vuelo, seleccionando los aeródromos adecuados para el tipo de aeronave, tanto de salida, de destino y alternativos posibles.

Las aeronaves VTOL utilizadas para operaciones con navegación basada en el rendimiento, transporte de mercancías peligrosas, operaciones con sistemas de navegación nocturnas y operaciones de servicios médicos de emergencia deben constar con aprobaciones específicas adicionales.

Respecto a los requerimientos generales EASA designa como autoridad competente al Estado miembro en el que el operador de aeronaves tenga su centro de actividad principal o la Agencia, de conformidad con el artículo 65 del Reglamento (UE) 2018/1139 de 4 de julio del Parlamento Europeo y del Consejo.

En relación al piloto su responsabilidad se basa en la correcta ejecución de sus funciones en relación a la seguridad de la aeronave y sus ocupantes y lo especificado en el manual de operaciones del operador de la aeronave y asimismo deberá informar al piloto al mando en caso de cualquier fallo, avería, o incidente que pueda poner en peligro la seguridad de la operación. El piloto al mando es responsable de la seguridad de pasajeros, tripulación y carga a bordo de la aeronave, de la seguridad del eVTOL cuando los motores o hélices estén accionados, con autoridad para dar las todas las órdenes precisas para garantizar la citada seguridad, asegurándose de que los pasajeros estén informados de la ubicación y uso de las salidas de emergencia y los equipos de emergencia pertinentes, asegurándose de que se cumplen todos los procedimientos operativos.

El operador además permitirá el uso de programas de apoyo que ayuden a los pilotos ante cualquier problema que pueda afectar su capacidad para ejercer las atribuciones de su licencia.

Respecto a los procedimientos operativos, el operador deberá garantizar el rodaje seguro, tanto aéreo como terrestre, coordinándose con el operador del aeródromo, con el objetivo de evitar una posible colisión entre aeronaves u otros objetos y las lesiones que pudiera conllevar para el personal de tierra.

Además, el operador deberá establecer procedimientos para la reducción del ruido de las aeronaves con capacidad VTOL, garantizará que las operaciones se realicen por rutas en las que existan instalaciones espaciales, instalaciones y servicios en tierra y servicios meteorológicos adecuados para la operación, con superficies para ejecutar un aterrizaje de emergencia y que la aeronave disponga de cartas y mapas adecuados. También implementará un esquema de combustible, para planificar y gestionar el mismo en vuelo y seleccionar aeródromos o lugares de operaciones, lo cual se incluirá en el manual de la autoridad competente. Entre la planificación del combustible, el operador debe garantizar, entre otras cosas, que la aeronave lleva la cantidad suficiente para completar el vuelo y permitir desviaciones, así como que se realizan las

comprobaciones y gestiones necesarias durante el vuelo, por parte del piloto al mando.

En relación al aeródromo a utilizar, el operador considerará adecuado el mismo cuando sea compatible con las dimensiones y peso de la aeronave, con las trayectorias de aproximación y salida y con las instalaciones y servicios necesarios para la operación.

Los instrumentos, datos y equipos mínimos de la aeronave para la operación son los siguientes:

- Luces de funcionamiento (anticolisión, para instrumentos y equipos, para compartimientos de pasajeros, para piloto, de navegación y posición y de aterrizaje para iluminar el suelo).
- Instrumentos de vuelo y equipos asociados aprobados según el tipo de operación visual, instrumental o nocturna.
- Equipos de medición y visualización del combustible
- Equipo de determinación de altura que es capaz de emitir una advertencia sonora y visual en casos como visibilidad inferior de 1,500 metros u operar de noche.
- Equipos meteorológicos de a bordo.
- Equipos adicionales para operaciones en condiciones de hielo por la noche.
- Sistema de interfono de la tripulación.
- Sistemas de megafonía.
- Grabador de voz en cabina.
- Registro de vuelo y sus datos.
- Registro de enlaces de datos.
- Asientos, cinturones de seguridad, sistemas de retención y dispositivos de retención para niños.
- Kits de primeros auxilios.
- Oxígeno suplementario en aeronaves no presurizados que operen a altitudes de presión superiores a 10.000 pies.
- Extintores de incendios.
- Sistema de luces de emergencia.
- Transmisor de localización de emergencia.
- Chalecos y balsas salvavidas.
- Equipo de supervivencia.
- Equipos de radiocomunicación.
- Equipos de navegación.
- Transpondedor.
- Gestión de bases de datos aeronáuticas.

### **1.1.3. Aceptación social**

Una gran parte de la población tiene algún grado de miedo a volar, algunos de ellos demostrado clínicamente con una fobia a volar [\[2\]](#). La aceptación de las aeronaves eVTOL vendrá dado cuando se demuestren diferentes claves. En



primer lugar, que sea un medio de transporte seguro y del cual todo el mundo pueda beneficiarse de su servicio. Por otro lado, es muy importante el hecho de que sea un transporte eficaz, cómodo y que contamine lo menos posible tanto visualmente como acústicamente. Por último, que sea un transporte que respete la privacidad de los usuarios.

Para que las operaciones UAM estén aceptadas socialmente han de seguir los siguientes pasos. En primer lugar, es muy necesario una certificación robusta, pruebas y normas para que se pueda diseñar, fabricar y operar la aeronave eVTOL con seguridad. Finalmente, las empresas deben utilizar estas normas para informar a la gente de su seguridad y de la tecnología empleada para el diseño de las operaciones. Un ejemplo para enseñar los servicios son simulaciones de realidad virtual. Los usuarios de esta manera pueden conocer el funcionamiento de las operaciones y ayudará a coger confianza para utilizar un eVTOL. Otra forma de ayuda para establecer que las operaciones UAM son seguras es con la importación de los distintos tipos de prácticas y culturas de seguridad de las aerolíneas.

En relación al ruido, explicado en el apartado 5, se espera un ruido bajo, pero este ruido dependerá del ruido ambiental, sus características y el lugar donde se encuentre ubicado, según consta en el Estudio de la aceptación social de la Movilidad Urbana Aérea en Europa, publicado por EASA el 19 de mayo de 2021 [\[5\]](#).

Según este último Estudio, mediante encuestas realizadas se observa que en el Sur de Europa (Milan y Barcelona) muestran una actitud más positiva frente a los taxis aéreos que los encuestados en el Norte de Europa (Hamburgo). Además, también se señala mayor aceptación en los grupos de edad más jóvenes (de 25 a 35 años), en los hombres y en los grupos de nivel adquisitivo alto. Como era de preveer salen resultados positivos de aceptación en aquellos grupos que se espera que utilicen los servicios UAM. Las preocupaciones principales de los encuestados frente a los servicios UAM son la seguridad, protección y medioambiente, ocupando el ruido el segundo lugar, cuyas preocupaciones aumentan con la edad, educación y nivel adquisitivo.

Se esperan que las primeras ciudades donde se empiecen a utilizar estos servicios sean ciudades que socialmente acepten de manera más abierta las nuevas tecnologías. Un ejemplo de este tipo de ciudades puede ser Dubai, y a raíz del efecto que tenga, los problemas de seguridad a resolver y nuevas ideas que puedan aparecer se tendrán en cuenta para su implementación en el resto del mundo [\[1\]](#).

Además de necesitar la aceptación social, también hay que argumentar a las ciudades porqué se debe invertir en las operaciones UAM. Después de esta inversión es cuando hay que demostrar a la sociedad de la seguridad de estas aeronaves. Un accidente de alta magnitud puede crear una desconfianza frente estas operaciones. Sin embargo, no debe ser difícil tener la aceptación social de los taxis aéreos teniendo en cuenta que con ellos se obtiene un gran ahorro de tiempo en los viajes, siempre y que se tenga un gran nivel de seguridad con las operaciones UAM.

No obstante, uno de los principales problemas para la sociedad en relación a las aeronaves eVTOL y sus servicios es el coste, el cual debe ser reducido hasta el punto que la gente esté dispuesta a pagar por el servicio. En el caso de que el coste del servicio no sea reducido lo suficiente, no se llegarían a obtener altos beneficios. Además, sería un transporte visto para el uso de gente de alto nivel adquisitivo, lo cual crearía un rechazo al resto de la sociedad.

## CAPÍTULO 2. AERONAVES eVTOL

La industria de eVTOL es muy prometedora con la creación de estos servicios. Su diseño y fabricación es un gran avance de la tecnología e introduce a la sociedad en una nueva etapa moderna e innovadora.

Una aeronave eVTOL es un avión eléctrico capaz de despegar y aterrizar verticalmente. La propulsión de los aviones eVTOL se llevan a cabo mediante pequeñas unidades de propulsión accionadas por motores eléctricos. Estos propulsores se denominan como “Propulsión Eléctrica Distribuida” (DEP) o “power-by-wire”. Estos ofrecen diferentes diseños para un buen funcionamiento de la aeronave. Estos aviones vuelan a bajas altitudes, a diferencia de los aviones comerciales.

Por definición, los aviones eVTOL son eléctricos, pero también existen los híbridos. Los eVTOL eléctricos utilizan para su funcionamiento baterías de litio o pilas de combustible de hidrogeno. Por el contrario, los eVTOL híbridos constan de un motor de combustión interna (ICE), como por ejemplo un motor de turbina de gas o un motor diésel. Estos motores son utilizados en la etapa de crucero, pero para los despegues y aterrizajes se emplea una batería que reduzca el nivel de ruido. Las aeronaves eVTOL híbridos ofrecen mejores servicios, pero son más ruidosos y contaminantes que los eVTOL totalmente eléctricos.

Los aviones eVTOL están destinados al transporte de pasajeros o mercancías. Son diseñados con altos niveles de autonomía, pero, a diferencia de los drones, pueden estar controlados con un piloto a bordo. Por lo tanto, no se describen a estas aeronaves como drones funcionales ya que estarían certificados como un vuelo pilotado de forma convencional [3].

A diferencia de los helicópteros, las aeronaves eVTOL son más maniobrables, eficientes, silenciosas y baratas y también menos complejas.

### 2.1. Tipos de eVTOL

Las aeronaves eVTOL [2] se pueden clasificar según la configuración de sus rotores o motores. Hay tres tipos distintos de sistemas que son los siguientes:

- **Multirotor:** éste es el tipo de eVTOL más simple comparado con el resto. Este tipo de aeronaves funcionan con múltiples rotores, y no posee de alas. Para el vuelo estacionario es un tipo de avión muy eficiente, sin embargo, en vuelo de crucero alcanza una velocidad baja, de unos 90 km/h, así pues, la distancia máxima que puede recorrer es corta, aproximadamente unos 40 o 50 kilómetros. En relación al ruido, son un tipo de aeronaves que logra un bajo nivel de ruido en sus aplicaciones. Por lo tanto, es un gran sustituto del helicóptero ya que es un transporte más silencioso. Asimismo, también es una buena alternativa porque es más barato de operar y no emite gases dañinos al ecosistema.

Un ejemplo de ellos es el VoloCity Volocopter [6] fabricado en Bruschal Alemania, por la compañía “Volocopter GmbH”, creado sus primeros prototipos en noviembre de 2019 y se espera lanzar sus primeros vuelos comerciales a finales de 2022 o durante el 2023, a la espera de recibir un certificado de tipo de EASA. El VoloCity está compuesto de 18 hélices y 18 motores eléctricos, con un ruido mínimo. Su velocidad puede alcanzar los 100 kilómetros de horas, un rango de 35 kilómetros y con capacidad del piloto, un pasajero y su equipaje, aunque se espera que pueda operar de forma autónoma. Gracias a su simplicidad se considera el primer eVTOL que brindará servicio de taxi aéreo ya que su certificación será aprobada antes ya que sus competidores son de una tecnología más compleja.



**Figura 2.1** VoloCity Volocopter [6]

- **Tilt-rotor:** este tipo de eVTOL es el más complejo por su diseño y desarrollo. Contiene de múltiples hélices que pueden inclinarse, consiguiendo pasar del vuelo vertical al horizontal y viceversa. La velocidad máxima que puede alcanzar es de 300 km/h, por lo que la distancia a recorrer es muy elevada, de 300 kilómetros.

Este tipo de rotores, conocidos como rotores basculantes, son más complejos porque deben ser redundantes y evitar cualquier fallo. El problema de esto es que el peso y el coste de estas aeronaves aumenta significativamente. Por último, el tiempo que requiere la certificación de estas aeronaves también es más elevado.

Un ejemplo de ellos es el Joby Aviation S4 [7], fabricado en Santa Cruz, California por la empresa “Joby Aviation”, del cual se tiene conocimiento desde agosto de 2015, presentándose imágenes a escala real en 15 de enero de 2020. Está compuesto por seis hélices basculantes que se encuentran tanto en el ala fija como en su cola en V y tiene una capacidad de cinco asientos, piloto y cuatro pasajeros. La compañía asegura el 29 de enero de 2019, que la aeronave es 100 veces más silencioso que un helicóptero, alcanza una velocidad de 322 kilómetros por hora con un alcance de 241 kilómetros, según demostraciones a subescala y gran escala realizadas con éxito, señalando también que el control de vuelo es

unificado, reduciendo la capacidad del piloto para cometer errores. La misma compañía prevé que el servicio de taxi aéreo comience en 2024 en Los Ángeles, Miami, Nueva York y San Francisco.



**Figura 2.2** Joby Aviation S4 [7]

- **Decoupled-propulsive:** también se conoce como “lift-and-cruise”. Este tipo de aeronave contiene de múltiples hélices verticales y uno o más propulsores para el vuelo horizontal. Este avión alcanza una velocidad menor que el avión anterior, de unos 250 km/h, por lo que la distancia que puede recorrer también es inferior, de unos 150 o 200 kilómetros. En vuelo de crucero, la sustentación se proporciona mediante las alas, y las hélices son las que mantienen la eficiencia aerodinámica. Este avión tiene mejor rendimiento que los multirrotores, pero menor que los rotores basculantes. Por tanto, es una muy buena opción para utilizar. Uno de los ejemplos es Alia [8], fabricado en South Burlington, Vermont, por la compañía “Beta Technologies Inc”. En este caso se tiene conocimiento de la aeronave el 12 de junio de 2020. Tiene una capacidad para 2 personas con un rango de 400 kilómetros, compuesto de 4 hélices de elevación vertical y una hélice de empuje fijas para reducir la complejidad de la aeronave y aumentar su seguridad y por tanto facilitar la obtención de la certificación con 5 motores eléctricos. Dicha compañía ha desarrollado una estación de recarga rápida que puede utilizar cualquier avión eVTOL.



**Figura 2.3** Alia [\[8\]](#)

## 2.2. Beneficios de los eVTOL

A día de hoy, muchas ciudades están llegando a su límite en infraestructuras y transporte, y el constante crecimiento de la densidad de población hace posible el estudio de los nuevos transportes. Un aumento de los transportes actuales individuales, como nuevas carreteras, supone una financiación muy elevada y compleja, que además perjudica tanto en la vida de las personas como en la calidad del aire. La evolución de los servicios UAM conllevan muchos beneficios [\[1\]](#) [\[3\]](#) tanto para la sociedad como para el ecosistema.

Para empezar, la movilidad vertical ofrece un transporte innovador. Económicamente es una inversión más baja que el transporte terrestre, ya que en el aire el coste es menor porque no necesita fabricación ninguna. Este transporte es muy beneficioso para conectar todos los puntos de la ciudad.

Una de las ventajas más clara de las aeronaves eVTOL y sus servicios, es el ahorro de tiempo de un viaje frente al transporte terrestre. Alrededor de un 20% debe ser la reducción de diferencia de tiempo con la movilidad vertical.

Además de ser un transporte más barato, también a diferencia de los helicópteros, es un transporte más silencioso y respetuoso con el medio ambiente ya que la emisión de gases dañinos es más baja.

A parte de ser beneficioso para la sociedad y el medio ambiente, las aeronaves eVTOL son más sencillas de fabricar ya que los motores eléctricos utilizados son menos costosos de construir y mantener, aunque su certificación para la construcción será igualmente estricta como para el resto de componentes de otros transportes. Las baterías eléctricas de estos aviones requieren también de una infraestructura de recarga del eVTOL completamente eléctrico. Como ventaja, a diferencia de llenar un tanque de combustible en otros transportes, es que su coste es mucho más barato y, a medida que pasa el tiempo, el coste de

los kilowatts/hora de las baterías está decreciendo a causa de la existencia de vehículos terrestres totalmente eléctricos.

En relación al ruido, los eVTOL además de tener una reducción de la intensidad del sonido, también se reduce el carácter del sonido. Asimismo, cada modelo de eVTOL tendrá una firma de ruido distinto, ya que dependerá de la eficacia y el funcionamiento de dicha aeronave.

Un factor muy beneficioso de los aviones eVTOL a tener en cuenta es la sostenibilidad, estas aeronaves reducen o incluso llegan a eliminar las emisiones dañinas al medio ambiente. También se ha de tener en cuenta el origen de la electricidad que alimenta las baterías utilizadas de estas aeronaves.

Por último, otro de los beneficios de los eVTOL es la seguridad. La propulsión eléctrica es más segura porque no tiene tanta probabilidad de error. Además, como generalmente es un avión autónomo, se elimina la probabilidad procedente de los errores humanos, por lo que hace este transporte más seguro. Hay que tener en cuenta, que en un principio seguramente se sufrirán accidentes debidos a problemas que no son previstos por los diseñadores. Por eso hacer buenas pruebas de estos aviones son importantes para poder resolver los problemas no esperados y demostrar finalmente que pueden ser más seguros que los helicópteros.

## CAPÍTULO 3. MERCADO DE LA UAM

Las aeronaves eVTOL llegan a la sociedad como un nuevo transporte con tal de ofrecer los servicios necesarios a los usuarios. Los servicios pueden ser tanto servicio privado como un taxi aéreo, como un servicio público como por ejemplo una ambulancia aérea o un transporte de rescate. Estos servicios tienen su coste, ya no solo el precio que debe pagar cada persona para utilizar este transporte, sino también el coste de la creación, fabricación y mantenimiento de los aviones. A continuación, se explicará los servicios posibles que ofrece la movilidad aérea aeronaves y su coste.

### 3.1. Servicios de la UAM

La movilidad aérea ofrece diferentes servicios de los cuales se encuentran el transporte de personas utilizando un taxi aéreo, ambulancias aéreas, servicios de búsqueda y rescate, extinción de incendios y entrega de paquetes. Seguidamente, se explicarán los servicios mencionados anteriormente.

Para que el funcionamiento del mercado de eVTOL sea todo un éxito es necesaria la colaboración con los organismos gubernamentales y las partes interesadas a nivel internacional. Este avión puede ofrecer las soluciones necesarias en caso de catástrofes y crisis. Para poder hacer esto efectivo, se tienen que integrar con las infraestructuras a corto plazo.

El uso de las aeronaves eVTOL para el servicio público ayuda a poder recopilar datos y la generación de ingresos antes que para un servicio comercial o privado. En consecuencia, los fabricantes tienen una idea de la financiación de un sistema eVTOL y saben los datos útiles para obtener la certificación más rápida.

#### 3.1.1. Taxi Aéreo

A consecuencia de los problemas de densidad de población urbana y el efecto negativo que le proporciona al transporte debido a la aglomeración, el servicio de taxi aéreo [9] que pone a disposición la movilidad aérea es una solución para combatir dicho problema. Este servicio es uno de los principales y más cercanos a la población ya que cualquier usuario podrá utilizarlo.

El taxi aéreo constará de pequeñas aeronaves eVTOL con capacidad de cuatro personas con el fin de transportar personas de un lugar a otro en las ciudades. Está hecho para trayectos largos a alta velocidad con un precio de viaje un poco alto.

El servicio de taxi aéreo estará dividido en diferentes segmentos. El primero es el desplazamiento desde el lugar donde se recogen los usuarios hasta el vertipuerto o vertistop. Este desplazamiento será terrestre, pudiendo ser tanto en



coche como a pie. El segundo segmento consta del despegue, el viaje por el aire y el aterrizaje. Este desplazamiento es el más largo del viaje. Finalmente, el último segmento es similar al primero, un desplazamiento entre el vertipuerto o vertistop hasta el lugar donde se dejan los usuarios. Con tal de que vaya bien todo el servicio, se debe integrar y coordinar el transporte terrestre con el aéreo.

Una vez entregado los pasajeros, debe tomarse una decisión, hacer una inspección visual y cargar las baterías o volver a dar otro servicio e ir a recoger otros clientes. En el primer caso, se debe determinar la ubicación en el que hacerse la revisión y donde cargar la batería. En el segundo caso, hay que determinar también la ubicación donde se van a recoger a los nuevos clientes.

La infraestructura utilizada para el taxi aéreo debe ser un sitio que se pueda acomodar el ruido de la aeronave, que haya suficiente espacio para que los usuarios puedan entrar y salir y que los vehículos puedan despegar y aterrizar con seguridad. Existen diferentes métodos de análisis de decisión multicriterio para la selección de vertipuerto o vertistop que clasifica la lista de las ubicaciones donde se pueden encontrar las paradas para este servicio.

Este servicio se compone de varios retos a suplir. En primer lugar, el primer reto es el "Ride-matching". Este concepto se define como el proceso para asignar cada eVTOL con el cliente. Debe existir un programa que ayude a asignar el vehículo que esté disponible con el cliente que haya solicitado el servicio, dependiendo de la hora a la que se haya solicitado el servicio, como cuando una persona solicita un Uber o Cabify. Además, está pensado dar servicio a múltiples clientes a la vez, cuando la solicitud sea a la misma hora y tengan un origen y destino muy similar.

Otro reto por el que el servicio debe luchar es el coste del viaje para los pasajeros. Hay que tener en cuenta una tarifa base, como en un taxi, y después la distancia que se desplace. Este precio también deberá tener en cuenta si el servicio está muy demandado o no, ya que, si hay alta demanda, el cliente suele pagar más que el precio normal. Después de diferentes estudios, se concluyó que los mayores beneficiadores serían tanto el conductor como la plataforma, mientras que los clientes solo se beneficiarían durante las horas puntas. En el futuro se podría tener en cuenta la fidelidad de los usuarios y ofrecer distintos descuentos para estos clientes y para los clientes que quieran desplazarse trayectos muy largos, y también precios especiales cuando haya eventos importantes como conciertos o partidos de fútbol. De esta manera, llamará la atención a la población y terminarán queriendo utilizar este transporte.

Agregando a lo anterior, también hay que mantener la flota, aplicando inspecciones programadas dependiendo del número de vuelos que se realicen y reparaciones en los momentos necesarios. Hay que comprobar los siguientes componentes en la frecuencia necesaria:

- Semanalmente hay que comprobar los componentes críticos como por ejemplos el tren de aterrizaje, los motores y las superficies de control.
- Semanalmente también se debe realizar una inspección visual y lubricar las piezas del avión.
- Se debe realizar una inspección general anualmente.

- Se debe realizar una inspección todavía más profunda cada 4 años.

Los motores eléctricos de estas aeronaves deben inspeccionarse visualmente cada día y cada 10000 horas de vuelo pasar una revisión. Estas revisiones conllevan un 22% de los costes operativos totales.

Finalmente, el último reto que debe cumplirse es el entrenamiento de los pilotos y su programación. Es importante una buena mano de obra para poder garantizar una buena seguridad. Es fundamental que haya el número óptimo de pilotos de tal manera que el servicio de taxi aéreo sea eficiente. Igual que la asignación de vehículo con el cliente solicitante, debería existir en un futuro un programa que también asigne el vehículo con un piloto sabiendo cuantas horas de vuelo le queda a ese piloto ese día. No obstante, este servicio a largo plazo se espera que sea totalmente autónomo, así se pueda eliminar el coste de la mano de obra que es el segundo coste más alto del coste total. De esta manera también aumenta la capacidad en el vehículo y su eficiencia. Para que la existencia de los taxis aéreos autónomos sea efectiva debe existir un ordenador que controle los vuelos desde tierra.

En conclusión, se espera que el funcionamiento del servicio de taxi aéreo sea efectivo en pocos años y así solucionar el problema de la congestión de tráfico. Los retos mencionados anteriormente son retos a resolver con tal de garantizar el éxito del servicio, además de futuros retos que puedan aparecer y deban investigarse.

### **3.1.2. Ambulancia Aérea**

Además de un servicio de transporte de personas para facilitar las necesidades de las personas, también existe el servicio de transporte de personas a los hospitales con el fin de agilizar la urgencia que se pueda tener. Este servicio de emergencia puede ser clave para lograr la aceptación social de la movilidad vertical. Además de las ambulancias aéreas [10], también se puede usar las aeronaves eVTOL para la entrega de suministros de emergencia o el transporte de órganos.

El uso de una ambulancia aérea dependerá de los diferentes factores:

- Que el paciente necesite cuidados críticos y el centro médico esté lejos de su ubicación.
- Que el paciente necesite cuidados críticos y no estén disponibles en las ambulancias terrestres.
- Cuando no es apropiado el transporte terrestre, ya sea por el tráfico o por no tener disponibilidad de una ambulancia terrestre.

No obstante, para que se pueda utilizar una ambulancia aérea se han de cumplir los siguientes requisitos:

- El peso de los pasajeros esté dentro de los límites permitidos.
- Haya instalaciones de aterrizaje en el centro médico o sea cercano.

- Que las condiciones meteorológicas sean las adecuadas para que el vuelo sea seguro.

Actualmente, el transporte médico de emergencia puede ofrecerse con vehículos terrestres, conocidos como ambulancia, y por transporte aéreo con los helicópteros. Se espera en un futuro poder introducir las aeronaves híbridas y eléctricas en el mercado de ambulancias aéreas porque la velocidad media de crucero de estos dos tipos de aeronaves es mayor que la de los helicópteros convencionales. Las aeronaves híbridas alcanzan una velocidad de crucero media de 402 kilómetros por hora y las aeronaves eVTOL alcanzan una velocidad de crucero media de 241 kilómetros por hora, mientras que los helicópteros convencionales alcanzan únicamente 160 kilómetros por hora de velocidad de crucero.

El vuelo de la ambulancia aérea consta de diferentes fases para hacer efectiva su función. La primera fase conocida como respuesta es la que se compone desde que se recibe la emergencia, ir hasta el lugar donde está el paciente, y, por último, atender al paciente. Sin embargo, esta fase no tiene en cuenta si la aeronave aterrizará para atender al paciente o se le cargará con una camilla mientras está en vuelo estacionario. Esta decisión cambiará según el clima, el estado del paciente, la autorización para aterrizar u otros factores. La segunda fase se conoce como transporte, donde se lleva al paciente hasta el hospital o lugar donde se le vaya a atender. La última fase es conocida como retorno. Esta fase regresa a su base, se recarga la batería para la siguiente misión y ya está lista para volver a dar otro servicio.

Dependiendo de las distancias, será mejor el vehículo terrestre o el eVTOL. Por ejemplo, para una distancia menor de 40 kilómetros es más rápido el transporte terrestre que el aéreo. No obstante, las aeronaves híbridas sí que son más rápidas que el transporte terrestre para distancias entre 24 y 32 kilómetros.

En relación a su coste, se concluye que las aeronaves eVTOL o híbridas no son la opción más rentable, porque, aunque sean un poco más baratas que los helicópteros convencionales, pueden seguir usándose los helicópteros ya que operan de forma similar.

La carga de la batería de las aeronaves eVTOL son otro reto a afrontar ya que el tiempo necesario para que se cargue y pueda volver a dar servicio es de unos 200 minutos, que, en comparación con los helicópteros convencionales, que suele ser de unos 30 minutos, es superior. Para solucionar este problema se han planeados los dos escenarios siguientes:

- Empezar la carga de la batería durante el desembarco del paciente en el centro médico.
- Intercambiar las baterías de eVTOL cuando regresan a la base. Con este intercambio, los eVTOL pueden utilizarse un 35% más que los helicópteros, reduciendo el coste por transporte en un 30%, haciendo estas aeronaves económicamente rentables.

Además, otra forma de reducir el tiempo de carga es utilizando supercargadores con mayor potencia. Aun así, se necesita investigar sobre nuevas tecnologías e

innovaciones que puedan reducir este tiempo de carga o el proceso se intercambiar baterías.

Hay que tener en cuenta la demanda de este servicio para saber la cantidad de eVTOL se necesitan y calcular la probabilidad de que esté disponible o no. Se estima que la demanda es más baja de 00 a 6 de la mañana, mientras que la demanda es muy alta de 12 de la mañana a 6 de la tarde.

En conclusión, el éxito de las ambulancias aéreas dependerá de la economía, de la eficacia y proporción de un medio rápido y seguro y de la evolución tecnológica. De esta forma, será una opción rentable y eficaz en comparación de las ambulancias aéreas actuales que son los helicópteros. En un futuro, los aviones eVTOL pueden ser utilizados para un servicio de no urgencia como el transporte de personal o de suministros médicos.

### 3.1.3. Búsqueda y rescate

Cuando ocurre una catástrofe climática, como inundaciones o terremotos, los servicios de emergencia se encuentran desbordados a causa que la solicitud de estos servicios es mayor a la capacidad de respuesta de los centros de mando. Igualmente, hay que añadir que las principales infraestructuras que se ven afectadas son los sistemas de comunicación, que dificultan la respuesta adecuada de los centros de mando.

Actualmente, para la entrega de suministros se utilizan todos tipo de transporte, marítimo, terrestre y aéreo. No obstante, el más importante es el transporte aéreo, concretamente los helicópteros, a causa de la imposibilidad de acceder con el resto de transportes, por carreteras dañadas o bloqueadas. Los helicópteros pueden utilizarse para lanzar los suministros necesarios, agua o alimentos. Del mismo modo, también son utilizados para el transporte de heridos a los centros médicos disponibles. Sin embargo, las infraestructuras disponibles para el aterrizaje y despegue de los helicópteros son inferiores a las necesarias en caso de catástrofe natural.

En consecuencia, la incorporación de las aeronaves eVTOL es importante para resolver tanto el bajo número de infraestructuras como la escasez de pilotos voluntarios en caso de emergencia, haciendo también de la operación más segura [\[10\]](#).

En relación al coste, el helicóptero es mucho más caro que un eVTOL, ya que mientras un helicóptero puede llegar a costar 3000 dólares por hora de vuelo en caso de llevar una carga pesada, el avión eVTOL llega a un coste de 400 dólares como máximo, incluyendo todos los costes como el del piloto y de la batería.

El uso de las aeronaves eVTOL puede ofrecer las diferentes funciones en caso de catástrofe:

- Entregar los suministros médicos y productos básicos necesarios. Los eVTOL ofrecen un acceso directo y más simple para ofrecer ayuda que el

resto de transportes, sobre todo en las primeras horas o días de la catástrofe.

- Transportar equipos de ayuda y personal médico cerca de las personas heridas o que necesiten ayuda.
- Evacuar el personal médico y a los heridos al centro médico para recibir la atención necesaria.

Los beneficios que pueden ofrecer las aeronaves eVTOL en caso de catástrofe son los siguientes:

- La entrega de los suministros médicos y productos básicos es más eficiente debido a que es más rápido ya que puede aterrizar en lugares más cercanos de la zona afectada.
- El transporte de personas es más seguro y eficiente. Pueden transportar al personal médico más cerca de las personas heridas y el transporte de los pacientes al centro médico es importante en situaciones de emergencia. Al ser vuelos autónomos, la capacidad de la aeronave es mayor, y, por tanto, puede ayudar a más personas que necesiten ayuda.
- Socialmente, las aeronaves eVTOL serán aceptadas y conseguirán muy buena reputación debido a las acciones en caso de emergencia cuando ocurre una catástrofe.

### **3.1.4. Extinción de incendios**

En este apartado, se basa en los incendios forestales, que pueden ser un elemento natural para la renovación del ecosistema, o, por el contrario, pueden ser consecuencia de la actividad humana, que conlleva la destrucción del ecosistema. Un incendio forestal puede ser intencionado, ya sea por vandalismo o la acción de pirómanos.

La extinción de estos incendios son un peligro para los bomberos ya que exponen su vida, pudiéndoles causar lesiones térmicas, fátiga, cortes y rasguños [\[10\]](#).

Un incendio forestal tiene una acelerada expansión, que, encima, es imprevisible la orientación a la que se expandirá. Por eso, una respuesta rápida a su extinción es muy importante, porque, además de poner en riesgo la vida de los bomberos o de los ciudadanos de alrededor, es un gran impacto económico su extinción, sin olvidar el daño que le produce al medio ambiente. De esta manera, un incendio forestal suele extinguirse antes de su crecimiento y estar fuera de control.

Actualmente, los vehículos aéreos existentes para la extinción de incendios son los aviones cisterna, helicópteros y aeronave no tripuladas. Los aviones cisterna y helicópteros son los vehículos clave ya que contienen el suministro de agua que apaga los fuegos, sin embargo, la cantidad de estos vehículos es limitada y los costes de sus operaciones son muy elevados. El uso de estos vehículos dependerá de si hay una instalación de aterrizaje cercano y de las condiciones meteorológicas.

A consecuencia del alto coste de los aviones cisterna y helicópteros, se ha planteado el uso de las aeronaves eVTOL, que, además, al ser vuelo autónomo, se elimina el riesgo del piloto durante la misión. Estos aviones, en el caso de un incendio forestal, puede aportar las siguientes funciones:

- Entregar los retardantes de incendios a demanda desde lugares distintos a los aeropuertos convencionales. De esta forma, se puede evitar que los incendios pierdan el control.
- Transportar los bomberos rápidamente al lugar adecuado. También es importante pensar que se puede evacuar a los bomberos en caso de descontrol del fuego. Se asegura una protección de vida de los bomberos.
- Al igual que las aeronaves eVTOL pueden evacuar a los bomberos, también pueden evacuar a los civiles, ya que el incendio puede acercarse de forma muy rápida a los pueblos y ciudades y poner en peligro su vida.

eVTOL será autónomo, pero no trabajará de forma independiente, sino que se integrará en el comando general de incidentes y control integrado con el resto de las operaciones, tanto las terrestres como las aéreas. Por tanto, se convertirá en una operación eficaz y más segura.

Como ya se ha comentado, uno de los beneficios más importantes del uso de los aviones eVTOL es la protección de vida de los bomberos y los civiles. Pero además de este beneficio, el uso de las aeronaves eVTOL tiene muchos otros beneficios, explicados a continuación:

- Reducir la gravedad de los incendios conllevará un ahorro económico ya que el alcance de reducción y de sistema implantado será mucho menor.
- Socialmente serán operaciones muy aceptadas porque salvan tanto el ecosistema como las vidas de bomberos y civiles.
- La industria de los aviones eVTOL sufrirá un crecimiento muy positivo, que al ser un servicio público será aceptado por la sociedad.

### **3.1.5. Entrega de paquetes**

A día de hoy, los servicios aéreos, que son utilizados para la entrega de grandes cargas útiles, como suministros médicos o productos básicos, pueden trabajar a largo alcance. En cambio, no ofrecen buen servicio para cargas más pequeñas a corto o medio alcance.

Por tanto, se está estudiando el uso de aviones no tripulados para poder ofrecer el servicio a corto alcance [\[10\]](#). Sin embargo, muchos de estos vehículos tienen una baja capacidad y no pueden transportar grandes cargas útiles.

Con el fin de mejorar la entrega de carga útil, ésta pudiendo ser una carga grande para misiones a gran escala, se estudia el uso del sistema eVTOL y, por ende, mejorar este servicio. Algunas de las misiones claves son las siguientes:

- Entrega militar de última milla. Se pueden entregar cargas pequeñas y media a la línea de frente. Se utilizan sistemas eVTOL que también son transportables por carreteras, de manera que la operación puede ser

como mejor se adecue a la misión, ya sea por carretera o por el cielo. En relación al coste, el sistema eVTOL es más rentable que un helicóptero u otro vehículo aéreo disponible actualmente.

- Reabastecimiento en alta mar. Para la entrega de cargas en plataformas petrolíferas de aguas poco profundas, o plataformas de agua profundas cercanas es una buena opción el sistema de aviones no tripulados ya que pueden entregar de forma rápida componentes y equipos de importancia crítica. Su coste es bastante inferior que a la entrega de estas cargas con helicóptero.
- Entrega en respuesta de catástrofes, como ya se ha mencionado en el apartado 3.1.3. y es muy importante ya que se reduce el tiempo para entregar la carga, como agua, alimentos o suministro médico.
- Entrega en caso de incendios o trabajo policial. Pueden entregar retardantes de incendios o equipos de lucha en el lugar necesario, como ya se ha mencionado en el apartado 3.1.4. En caso de trabajos policiales, puede entregar un sistema eVTOL equipos de comunicación, suministro y equipos médico, equipos de protección y munición.

El sistema eVTOL permite una mejora en la eficacia de estas misiones, reduciendo el riesgo que se pueda ocasionar. Además, tiene los siguientes beneficios:

- Una aeronave puede acceder a lugares donde los medios aéreos actuales no pueden y ofrecen las entregas de paquetes en los lugares adecuados y necesarios.
- El coste para obtener una aeronave eVTOL es menor que para otro vehículo eléctrico ya que sus baterías son eléctricas, que aparte de ser menos costosas, necesitan un bajo mantenimiento a largo plazo.
- Se experimenta una alta reducción de víctimas en caso de catástrofe, tanto civiles como militares o bomberos.
- El problema de la escasez de pilotos voluntarios es resuelto ya que las operaciones con sistemas eVTOL son autónomos. Solo se necesitaría un controlador en tierra que pueda gestionar entre 10 y 20 aeronaves eVTOL.
- Al ser misiones a servicio del público, éste reconocerá las misiones como positivas y aceptaran el sistema eVTOL. Por otra parte, esta aceptación social ayudará al crecimiento de la industria eVTOL, creando nuevos mercados aparte del taxi aéreo.

### **3.2. Costes de los servicios UAM y aeronaves eVTOL**

El taxi aéreo es el futuro nuevo transporte, el cual tiene un precio para los usuarios que debe clasificarse, por un lado, como el precio del viaje, y, por otro lado, como la mecánica para reducir el coste a largo tiempo para conseguir ofrecer un precio competitivo frente otras opciones de transporte. El precio del viaje se determina como coste por milla, cuyo precio no ve reflejado el ahorro de tiempo y el aumento de comodidad que ofrece las aeronaves eVTOL.

Lógicamente, el precio de un viaje en eVTOL no está estipulado ya que todavía no hay ningún ejemplo práctico del que guiarse. Cada empresa o agencia estima

un precio distinto por pasajero. Por ejemplo, Uber estima un precio de 5,73 dólares por milla cada pasajero. Este valor puede oscilar unos 0,50 dólares tanto por arriba como por abajo. Sin embargo, la NASA sugiere un coste más alto, de unos 6,25 dólares por milla cada pasajero [2].

Estos valores no son definitivos y, a largo plazo, con la autonomía de las aeronaves, y, sobretodo, las mejoras tecnológicas, estos costes serán reducidos un 60% aproximadamente. Esto se debe a que, con las mejoras tecnológicas, el precio de diseño, fabricación, mantenimiento y suministro de los componentes reducirá a causa de su evolución.

Asimismo la empresa Joby Aviation estima que la fabricación del Joby S4, según publicó eVTOL Magazine el 24 de febrero de 2021 [23], “cueste 1,3 millones de dólares por aeronave y prevé que cada uno genere 2,2 millones de dólares de ingreso anual, lo que supone un período de amortización de 1,3 años, sobre la base de un factor de carga de pasajeros de 2,3 y unas 4.500 horas de funcionamiento al año.” El fundador de la citada empresa, JoeBen Bevirt espera que la limitación de generación de ingresos provenga del número de aviones producidos y no de las demandas del mismo y que el coste de producción de una aeronave puede reducirse a la mitad.

Por lo que hace al servicio de ambulancia aérea, el estudio del análisis del coste de Keio University [12] se basa en un método estadístico de estimación de costes denominado CER. Este estudio se centra en el servicio de un eVTOL de dos pasajeros con servicio de ambulancia aérea en Japón. El método utilizado es aplicable fácilmente, pero su desarrollo se dificulta puesto que no tiene en cuenta el cambio tecnológico constante.

Los costes de un eVTOL se pueden distinguir en dos diferentes gastos. El primer coste está relacionado con el tipo de aeronave y sus características. Este gasto tiene una duración de 5 años de producción y se componen de las siguientes variables: costes del fuselaje, el motor, la batería, la hélice, el sistema de detección y evasión y el paracaídas.

El otro gasto que compone los costes de un eVTOL son los directos de operación (DOC). Este gasto se compone de los gastos de la aeronave calculados anteriormente, las horas de vuelo y la energía total necesaria. Por eso, este gasto es calculado cada año para cada vehículo. Con el coste de la aeronave se calculan distintas variables: el coste de depreciación, el coste de interés, y el coste de mantenimiento del material en dólares por año. Finalmente, DOC se calcula con la suma de estos tres costes mencionados anteriormente y los tres costes mencionados a continuación: coste de mantenimiento, coste de energía y coste de tripulación de vuelo.

Existe un coste adicional que en las aeronaves eVTOL hay que considerar. Éste es el coste de sustitución de batería y se debe a la pérdida de capacidad de descarga que sufrirá la batería con el tiempo. Con los datos proporcionados por los investigadores de las baterías, se puede calcular la cantidad de baterías necesarias que hay que utilizar al año dependiendo del número de vuelos, que variará según las horas de vuelo, y del número de ciclos en los que hay que



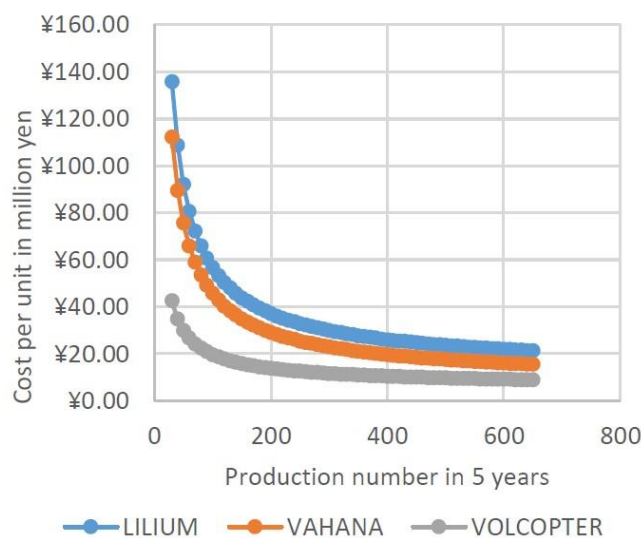
cambiar la batería. El coste de las baterías va descendiendo exponencialmente por su evolución tecnológica.

Para la obtención de resultados, en primer lugar, hay que determinar el perfil de misión que depende de la tasa de ascenso y descenso y la velocidad de crucero. El estudio está hecho para tres aeronaves distintas:

	<b>Vahana</b>	<b>Volocopter 2X</b>	<b>Lilium jet</b>
<b>Componentes</b>	Hélice y ala basculante	Hélice y ala fija	Ventilador canalizado y multirrotores sin alas
<b>Velocidad de crucero [km/h]</b>	230	100	280
<b>Distancia en 10,2 minutos [km]</b>	39,1	10,2	47,6

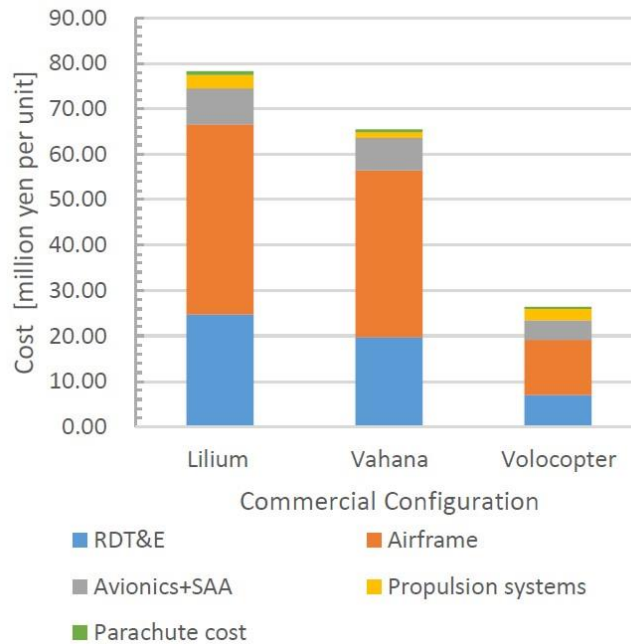
**Tabla 3.1** Características de las aeronaves [12]

Como se puede observar en la Figura 3.1, el coste por unidad de cada aeronave desciende exponencialmente en un periodo de 5 años a medida que se van produciendo más unidades de aeronaves. El coste será más bajo que la producción de helicópteros. Analizando cada uno de los aviones, el Volocopter es el que tiene el coste más bajo ya que su servicio también será inferior debido a su baja velocidad de crucero. Empieza su coste en unos 40 millones de yenes, que equivalen a unos 274.680,84 euros. Cuando llega a 300 unidades su coste por unidad es de 79.000,00 euros, y siguiendo reduciéndose lentamente. El Lilium jet es el más caro de los tres, también a causa de que ofrece mejor servicio porque su velocidad de crucero es mucho más alta. Empieza su coste en unos 962.000,00 euros aproximadamente, llegando a un coste de 160.000,00 euros a las 500 unidades. Por último, el Vahana empieza su coste en unos 756.000,00 euros, llegando a un coste de 119.000,00 euros a las 500 unidades.



**Figura 3.1** Coste por unidad en 5 años [12]

En la Figura 3.2, se puede ver la cantidad de coste que aporta cada componente. El fuselaje es el componente de mayor coste para la fabricación del VTOL siendo el siguiente el coste que incluyen la investigación y desarrollo, control de calidad y pruebas de vuelo.



**Figura 3.2** Coste clasificada por sus Componentes [\[12\]](#)

## CAPÍTULO 4. INFRAESTRUCTURA TERRESTRE

El sistema eVTOL necesita de infraestructuras terrestres donde poder despegar y aterrizar, cargar baterías o aparcar el vehículo. Se pueden clasificar las infraestructuras dependiendo de las funciones que pueda ofrecer.

La infraestructura más conocida es el vertipuerto, ya que es la infraestructura que más funciones puede ofrecer, más grande y que puede almacenar más número de aeronaves eVTOL. También se encuentra el vertistop que ofrece las tareas más básicas, donde la única función que ofrece es la el despegue y aterrizaje de la eVTOL, y no contiene ninguna instalación adicional. Por lo tanto, en esta infraestructura no se puede cargar la batería ni llevar a cabo el mantenimiento y reparación de la aeronave eVTOL [\[9\]](#).

### 4.1. Vertipuerto

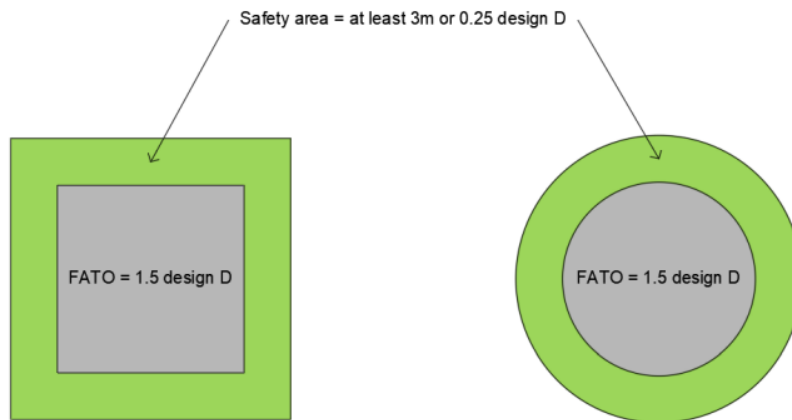
El vertipuerto, como ya se ha mencionado, es una instalación que ofrece muchas funciones. Además de despegar y aterrizar, cargar baterías y tener un lugar donde aparcar las aeronaves, en esta infraestructura se puede llevar a cabo el mantenimiento y la reparación del vehículo y la recogida de los clientes. También consta de calles de rodaje. El vertipuerto suele estar instalado en la zona urbana.

Para el diseño de un vertipuerto y sus características EASA publicó “Especificaciones técnicas del prototipo para el diseño de vertipuertos VFR para su funcionamiento con aeronaves tripuladas con capacidad VTOL” [\[13\]](#), en mayo del 2022. Uno de los principales requisitos para tener en cuenta en el diseño de la infraestructura es el análisis del margen de error, que en caso de una aeronave VTOL, se deberían basar en la actuación humana y en la autonomía basada en errores de máquina o de posición.

Se diseñan diferentes áreas en la pista donde la aeronave despegará y aterrizará. En primer lugar, está la plataforma de despegue y aproximación final (FATO). Esta área debe ser una zona libre de obstáculos y con el tamaño suficiente para garantizar la contención de la aeronave eVTOL en la fase final de aproximación y en el inicio del despegue. Esta área dependerá de la existencia de la plataforma de despegue y aterrizaje (TLOF). En caso de contener un TLOF, la FATO será contigua y estará a ras del TLOF y garantiza un despegue y una aproximación segura y eficaz, mientras que, si no hay TLOF, debe la FATO estar libres de peligros para cuando sea necesario un aterrizaje forzoso. Aun así, la FATO siempre debe tener un área de seguridad (SA) que la rodee. Por lo que respecta a sus dimensiones, la FATO se requiere una longitud de 1.5 del diámetro de la aeronave, y puede ser tanto cuadrada como circular. En relación a la pendiente, ésta no debe ser mayor al 2%, excepto en caso que el manual de vuelo de la aeronave lo indique.

En segundo lugar, el área de seguridad que se proporciona es una zona libre de obstáculos que se extiende más allá de la FATO. Esta área garantiza una

seguridad extra en caso de error de maniobra en condiciones ambientales difíciles. Respecto a sus dimensiones, esta área debe ser al menos 3 metros o 0.25 del diámetro de la aeronave extendiéndose hacia afuera de la FATO, se aplicará el valor mayor. En relación a la pendiente, ésta no debe superar el 4% hacia el exterior desde el borde de la FATO. Se puede añadir una zona de protección contra la corriente descendente de la aeronave, para que ésta no afecte a otras zonas del vertiportuero o el entorno. Se debe implementar en la ubicación y con el mismo tamaño de la SA cuando no sea sólida. En caso de que el vertiportuero sea elevado, esta zona de protección se puede ampliar por debajo del nivel de la FATO. En la Figura 4.1, se puede observar la FATO y su SA asociada.



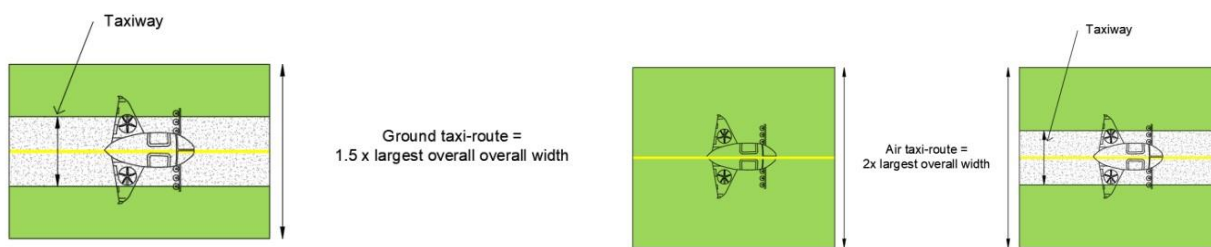
**Figura 4.1** FATO y SA asociada [13]

Con tal de proteger la aeronave VTOL, el vertiportuero debe proveer una pendiente lateral protegida, que se extienda 10 metros y se eleve  $45^\circ$ , desde el borde del SA. Debe ser una zona libre de obstáculos.

Respecto la plataforma de despegue y aterrizaje (TLOF) debe proporcionarse siempre que la aeronave toque dentro de la FATO en el despegue y aterrizaje, aun así, siempre se debe proporcionar al menos un TLOF en el vertiportuero, y siempre que esté asociado a una FATO, debe estar centrado a ésta. Debe ser una zona libre de obstáculos, sin irregularidades, con suficiente fricción para evitar el derrape o deslizamiento de la aeronave y su forma y tamaño debe garantizar la contención de el tren de aterrizaje de la aeronave. Respecto las dimensiones, TLOF debe ser de 0.83 el diámetro de la aeronave, sin embargo, cuando el vertiportuero esté elevado y el TLOF asociado a una FATO, el tamaño del TLOF debe ser igual o superior al diámetro de la aeronave.

En relación a las calles de rodaje, se puede considerar que la aeronave se desplaza por tierra o por aire. Por un lado, en el caso que sea una ruta de rodaje por tierra, la ruta de rodaje debe tener una anchura mínima de 1.5 la anchura total de la aeronave. En este caso la aeronave puede moverse sola con su propia fuerza o con ayuda de un equipo de movimiento en tierra. Por otro lado, en el caso de una ruta de rodaje aérea, la aeronave se desplaza a una superficie muy baja a una velocidad inferior de 37km/h. En este caso, la anchura debe ser de 2

veces la anchura de la aeronave. Esta ruta puede disponer de una calle de rodaje que debe estar centrada. En la figura 4.2 podemos ver los dos tipos de rutas de rodaje.



**Figura 4.2** Ruta de rodaje por tierra y ruta de rodaje aéreo [13]

El vertipuerto también debe disponer de las plataformas de estacionamiento donde se lleven a cabo el embarque y desembarque seguro de las persona y cargas. Este puesto de estacionamiento debe estar compuesto de un volumen libre de obstáculos y tener una forma suficiente para la garantizar la contención de todas las partes de la aeronave. La pendiente máxima en este caso no debe superar el 2%. Respecto las dimensiones, el puesto de estacionamiento debe ser un círculo de 1.2 el diámetro de la aeronave más grande que va a operar en el vertipuerto. Por último, se debe proporcionar un área de protección para el puesto de estacionamiento que garantiza la seguridad de la aeronave. Debe ser una zona libre de obstáculos y desde el borde del puesto de estacionamiento, debe extenderse una distancia de 0.4 el diámetro de la aeronave. En caso de existir más de un puesto de estacionamiento, éstos pueden ser con la zona de protección adyacente, e incluso, pueden solaparse. Los objetos esenciales alrededor deben estar situados más lejos que el 0.75 del diámetro de la aeronave.

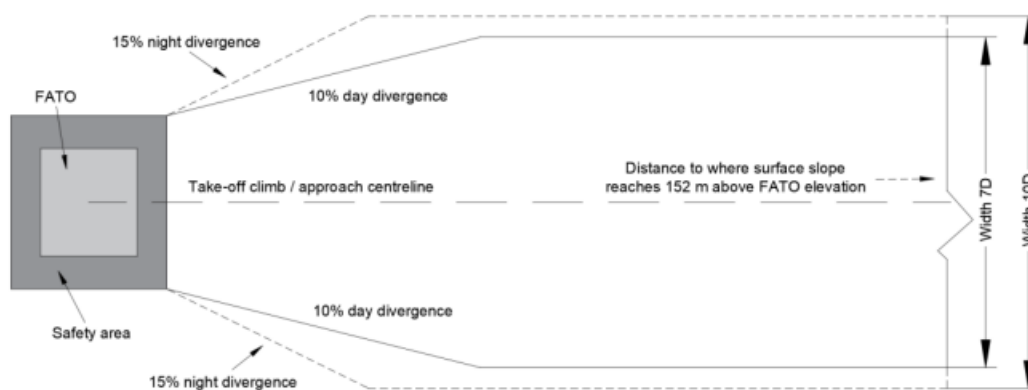
Por último, la distancia de separación entre el borde de una pista o calle de rodaje y la FATO deben ser igual o superior a como se muestra en la Figura 4.3, dependiendo de la masa de la aeronave.

If aeroplane mass and/or VTOL-capable aircraft mass are	Distance between FATO edge and runway edge or taxiway edge
up to but not including 3 175 kg	60 m
3 175 kg up to but not including 5 760 kg	120 m
5 760 kg up to but not including 100 000 kg	180 m
100 000 kg and over	250 m

Note: The values specified in this table are primarily intended to mitigate risks of wake turbulence encounters. In addition to this table, when positioning a FATO intended to be used simultaneously with a nearby runway or taxiway, attention should be given to other CS ADR-DSN requirements such as the minimum runway strip width. Local environment should be taken into account when setting the separation between the FATO and nearby infrastructure elements to ensure the safety of simultaneous operations.

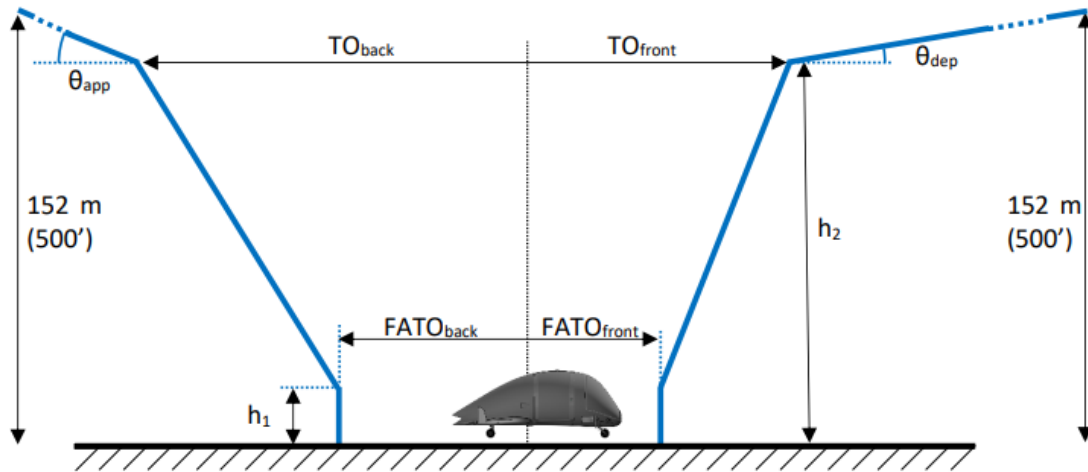
**Figura 4.3** Distancias mínima de separacion FATO [13]

Por lo que respecta a la limitación de obstáculos para los vertipuertos, que garantizan un seguro ascenso de despegue y de aproximación, se siguen las siguientes dimensiones que empiezan en el borde de la SA. En primer lugar, los bordes laterales divergen un 10% a cada lado de la línea central para operaciones diurnas. En cambio, para operaciones nocturnas los bordes divergen un 15%. Estos bordes divergen hasta que se alcanza 7 veces el valor del diámetro de la aeronave en operaciones diurnas. En operaciones nocturnas divergen hasta 10 veces el diámetro de la aeronave. Por último, estos bordes laterales se mantienen constantes hasta que se alcanza una altura de 152 metros (500 pies), a una pendiente determinada por el operador de la aeronave, por encima de la elevación de la FATO. En la Figura 4.4 se puede ver representada esta superficie.



**Figura 4.4** Esquema de la limitación de obstáculos [13]

Verticalmente, el volumen libre de obstáculos debe tener la forma representada en la Figura 4.5. Los valores de las distancias y ángulos deben ser proporcionados por el manual de vuelo de la aeronave. Sin embargo, los parámetros tienen algunas limitaciones, proporcionado en la Tabla 4.1.



**Figura 4.5** Parámetros genéricos del procedimiento de despegue y aterrizaje vertical [13]

Parameter	Minimum/maximum
$h_1$	-
$h_2$	$\geq h_1$
$TO_{width}$	$\leq 5 D$
$TO_{front}$	$\leq 5 D$
$TO_{back}$	$\leq 5 D$
$FATO_{width}$	$\geq 1.5 D$
$FATO_{front}$	$\geq 0.75 D$
$FATO_{back}$	$\geq 0.75 D$
$\theta_{app}$	$\geq 4.5\%$
$\theta_{dep}$	$\geq 4.5\%$

**Tabla 4.1** Parámetros mínimos y máximos de el procedimiento de despegue y aterrizaje vertical [13]

## CAPÍTULO 5. RUIDO DE LOS eVTOL

Los eVTOL se fabrican con la presencia de hélices y rotores para su funcionamiento. Estos componentes generan cierto ruido que debe ser revisado ya que es un requisito importante para la aceptación social necesaria del uso de estas aeronaves. El ruido que generan es difícil de predecir debido a que se necesita una modelización fiable de la dinámica compleja de los multirrotores.

EASA en su Estudio sobre la aceptación social de la Movilidad Urbana Aérea en Europa [5] indica que es una de las principales preocupaciones para la aceptación social de la UAM, motivado entre otros por volar más cerca de los entornos urbanos. Según pruebas de escucha realizadas con Arup en Arup Soundlab, uno de los mejores recintos artísticos y culturales del mundo, que se utiliza para experimentar los impactos de los grandes proyectos de Infraestructura. El objetivo de este estudio es comprender las respuestas de la gente al sonido UAM, probar enfoques para llevar a cabo más pruebas, obtener la percepción de la gente sobre el sonido. Este estudio se realizó en abril de 2021 con la participación de 20 oyentes, a los cuales se les acomodó al sonido de un entorno urbano a un nivel de 55 dB, para añadirles sonidos de diversos vehículos, tanto terrestres como aéreos, a un nivel máximo de 80 dB, así como el de un taxi aéreo que se reprodujo también a dos niveles más bajos (60 y 70 dB). Al final se le solicitó a los oyentes que clasificaran el sonido en función del grado de molestia, en una escala del 0 al 10. Los resultados se representan en la Figura 5.1 donde se observan las valoraciones medias, mínimas y máximas.

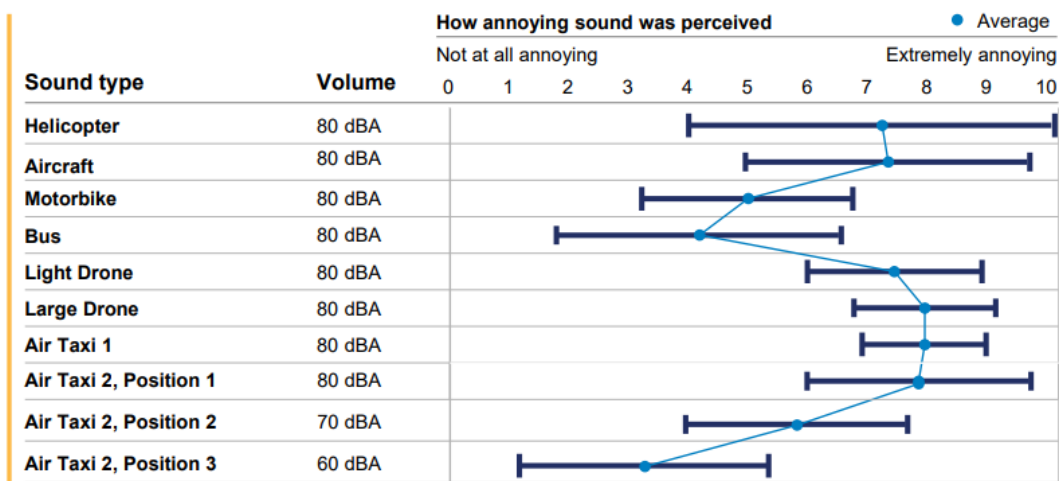


Figura 5.1 Resultados de la percepción de ruido [5]

En la Figura 5.2 muestra la separación entre las fuentes de drones y taxis aéreos y los demás vehículos al mismo nivel sonoro. Llegando a la conclusión que es posible que los sonidos UAM se perciban más negativamente por ser los mismos desconocidos.



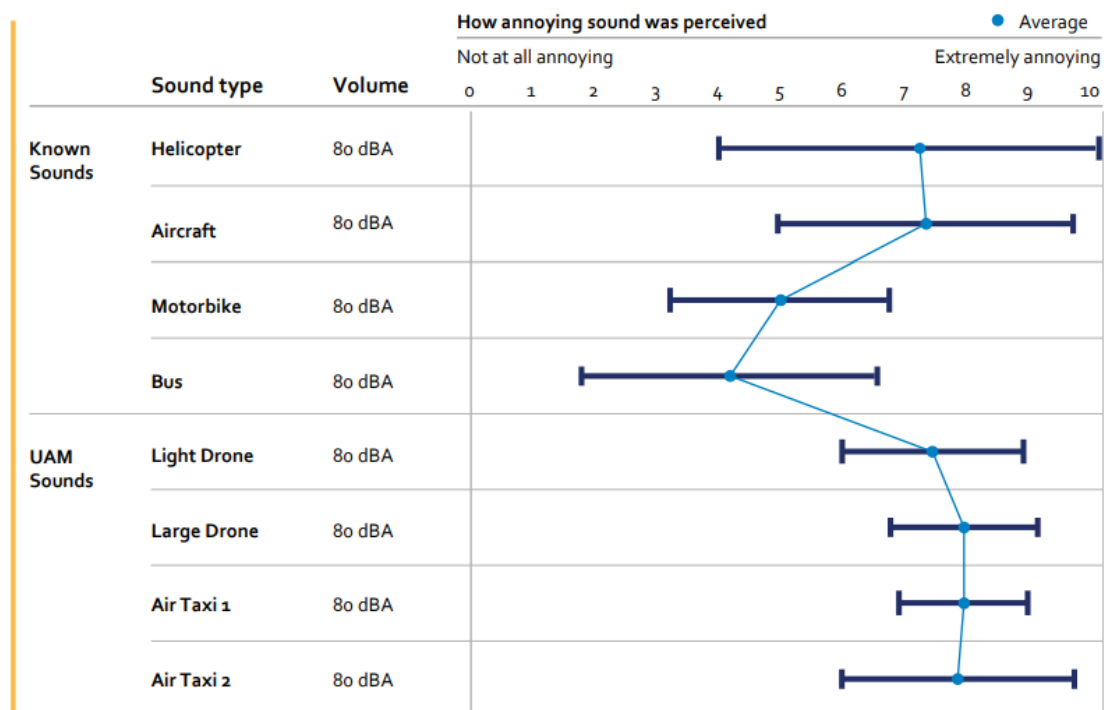


Figura 5.2 Resultados clasificados por ruidos conocidos y desconocidos [5]

En cuanto a las distancias el estudio (donde el nivel sonoro es distinto) se obtiene una puntuación más baja a una distancia más lejana, es decir un nivel más bajo. (Ver Figura 5.1).

Del estudio se saca la conclusión de la necesidad de otros estudios a mayor escala, que existe diferencia entre los sonidos de los drones y los taxis aéreos en relación a las demás, por falta de familiaridad, como antes se ha mencionado. De ello se desprende que a una mayor familiaridad con el sonido conlleva una mayor aceptación al ruido.

Se han presentado otros sistemas, como el de Penn State [14], que consiste en un código de simulación de la dinámica de vuelo juntamente con el software del modelo y el código de predicción de ruido, de tal forma de poder predecir el ruido de una aeronave eVTOL. Con este sistema se pudo determinar que el ruido varía dependiendo de la magnitud de la velocidad angular, y, sin embargo, no influye su tasa de cambio, ya que el ruido es estable en el tiempo generado por los rotores de velocidad variable.

A continuación, se describirá el sistema de predicción de ruido eVTOL de Penn State, con una maniobra de giro de 50 nudos. También la estrategia de pilotaje y control para reducir el ruido generado. Por último, estudia las tendencias de ruido determinista y de banda ancha.

## 5.1. Sistema de predicción de ruido eVTOL de Penn State

Este sistema de predicción contiene diferentes software y herramientas para poder predecir el ruido, validado su funcionamiento gracias a la demostración en helicópteros. El sistema contiene:

- En primer lugar, un software de simulación de vuelo de Penn State. Este software trabaja para vehículos eléctricos, con una base de datos que contiene numerosos motores eléctricos. También tiene la posibilidad de poner la cantidad de rotores que se necesiten y simular la dinámica de vuelo en diferentes altitudes y, en consecuencia, poder analizar distintas configuraciones más complejas de las distintas aeronaves de propulsión eléctrica.
- Una herramienta de análisis que proporciona una información detallada de las cargas aerodinámicas de los componentes del vehículo que se necesita para poder predecir el ruido que la aeronave eVTOL genera. Esta herramienta se puede aplicar para diferentes sistemas de hélices, multirrotores o ventiladores.
- Por último, el programa solucionador con el que se predice el ruido de los rotores y otros componentes del vehículo, como por ejemplo las alas, el fuselaje o el estabilizador. El ruido predicho se calcula en ocasiones de maniobras arbitrarias y con movimientos no periódicos. Este programa solucionador utiliza los datos proporcionados por la herramienta anterior.

El modelo de aeronave eVTOL utilizado para la validación de este sistema de predicción de ruido consta de cuatro rotores para la elevación del vehículo, que dos de ellos giran en sentido anti horario y los otros dos en sentido horario, y una hélice para el vuelo en crucero. El peso de la aeronave es de aproximadamente 450 kilogramos.

El estudio se centra en maniobras de vuelo arbitrarias. El modelo escogido es de un vuelo nivelado, sin ascenso ni descenso, y con un giro de 50 nudos. Toda la maniobra se desarrolla a una velocidad constante de 50 nudos. Se estudia la trayectoria con distintos ángulos de balanceo para iniciar el giro. Sin embargo, el ángulo de cabeceo variara entre 5 y 10 grados.

Con las distintas variables se puede demostrar que tanto el número de punta-Mach como los niveles de empuje del rotor tienen un impacto significativo y directo en relación a los niveles de ruido que el eVTOL emite.

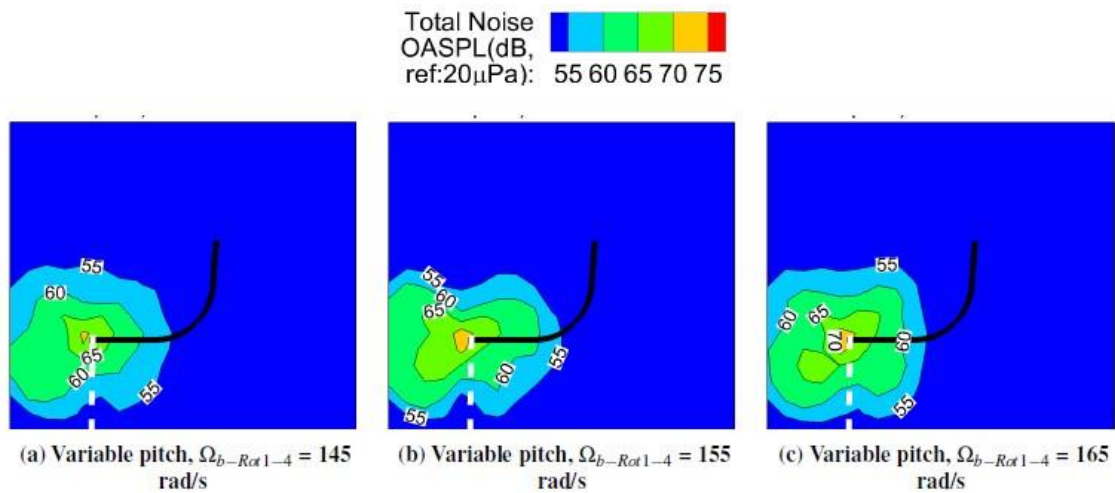
Existen dos tipos de ruidos distintos calculados:

- Por un lado, el ruido determinista, que es el resultado de la suma de ruido de todos los rotores del vehículo. Este ruido se calcula en decibelios.
- Por el otro lado, el ruido de banda ancha, se calcula en decibelios ajustados con la ponderación A.

### 5.1.1 Resultados del ruido determinista

El resultado del nivel obtenido en este estudio se obtiene cuando la aeronave vuela a un paso constante de ángulo de cabeceo de 5 a 10 grados. Se calculan los resultados en cuatro segmentos distintos de tiempo, explicados y representados a continuación:

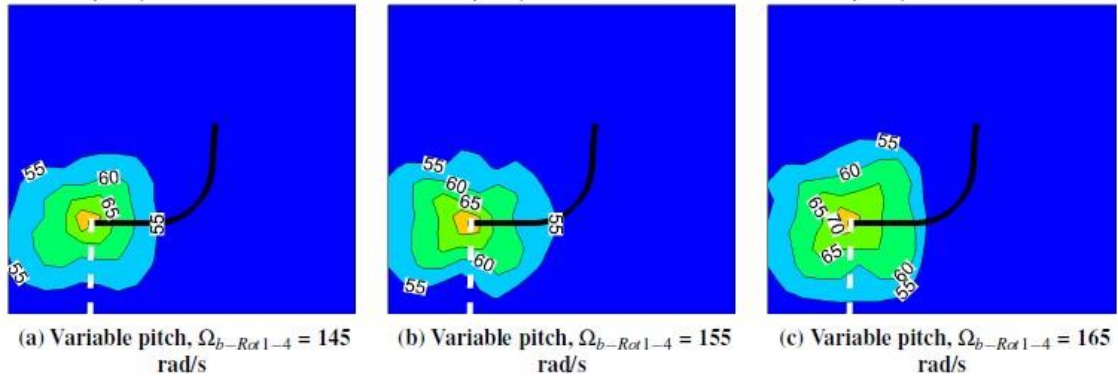
- A nivel de crucero para un ángulo de cabeceo de 5 grados, el ruido que emiten los rotores muestran focos acústicos de altos niveles de ruido, aproximadamente de 70dB. Se pueden observar estos pequeños focos en la Figura 5.3, donde la línea negra es la trayectoria que sigue la aeronave con un giro de 50 nudos como se ha mencionado anteriormente, y está ubicada en el centro de los focos acústicos que, en esta figura, está en el inicio de la ruta. Además, también está representada la leyenda de colores con el valor de decibelios respectivo, que se utilizará de aquí en adelante en estos resultados



**Figura 5.3** Ruido a nivel de crucero. Ángulo de cabeceo de 5° [14]

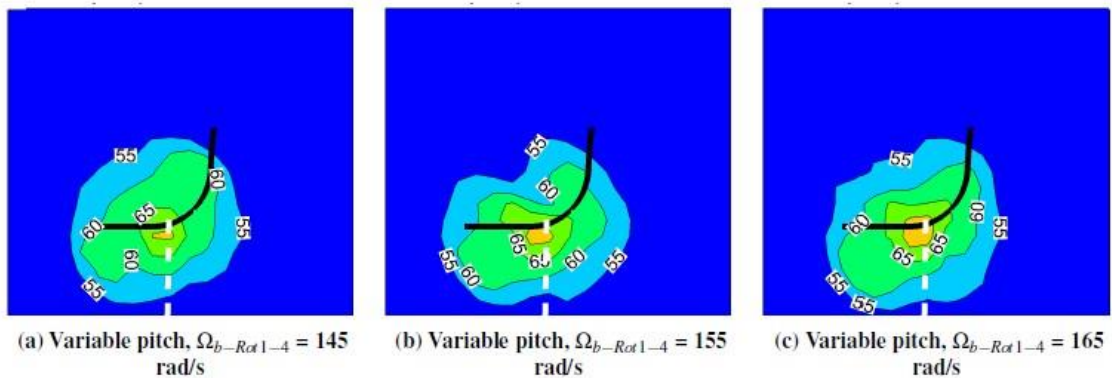
En la Figura 5.3 se puede observar que cuanto mayor es la velocidad angular, mayor es el nivel de ruido emitido.

En caso de que el ángulo de cabeceo sea de 10 grados, emite los focos acústicos de mayor intensidad, pero, sin embargo, los niveles de ruido disminuyen ya que se necesita menos empuje del rotor. Se puede observar este caso en la Figura 5.4.

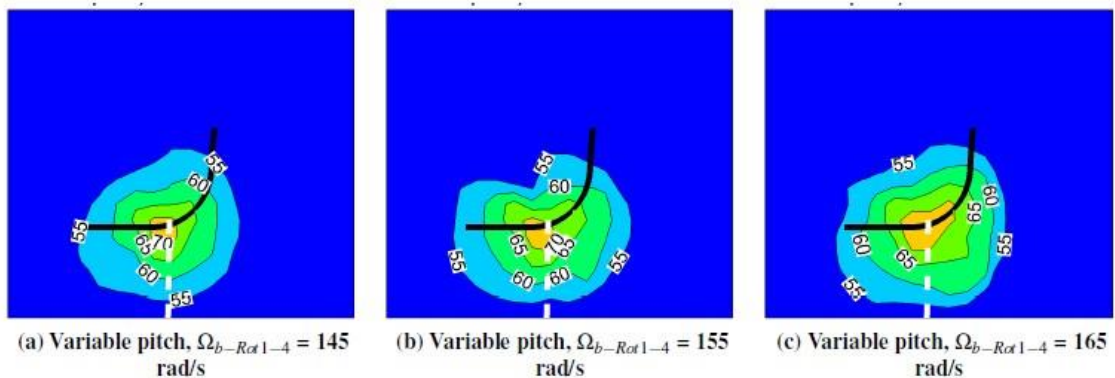


**Figura 5.4** Nivel de crucero. Angulo de cabeceo de  $10^\circ$  [14]

- En la fase de inicio de vuelo, donde la aeronave se encuentra en el inicio del giro, los niveles de empuje en todos los rotores aumentan y, así, conseguir el balanceo necesario para poder obtener el ángulo de balanceo que se elige. Con el aumento de los niveles de empuje también aumentan los niveles de ruido emitidos por los rotores de la aeronave. Tal como se puede observar en la Figura 5.5 y 5.6, en ambos ángulos de cabeceo de 5 y 10 grados, aumenta el foco acústico a 70dB a medida que la aeronave avanza en el giro.

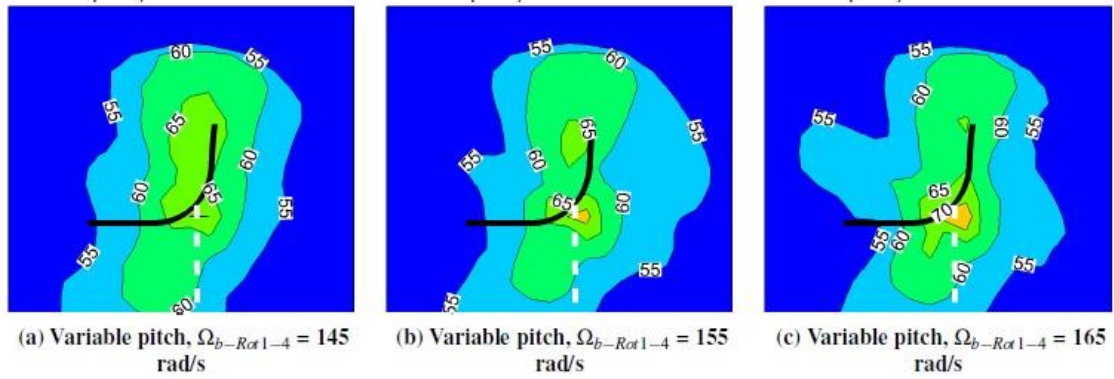


**Figura 5.5** Inicio de vuelo. Angulo de cabeceo de  $5^\circ$  [14]

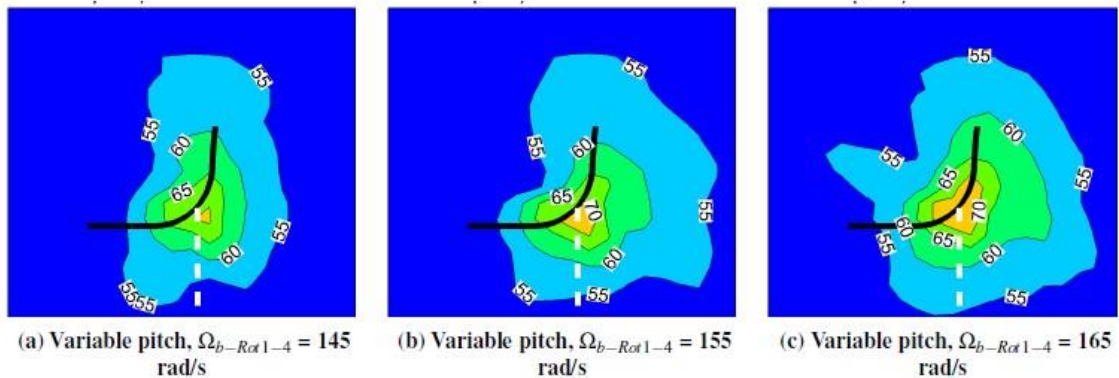


**Figura 5.6** Inicio de vuelo. Angulo de cabeceo de  $10^\circ$  [14]

- En mitad del giro se obtienen los niveles de empuje máximos para los cuatro rotores durante la maniobra. En este caso, como se puede ver en la Figura 5.7 y 5.8, los niveles de ruido aumentan en área por encima de los 55dB. En todos los casos, el área del foco acústico disminuye significativamente en comparación de todo el resto de fases de vuelo.

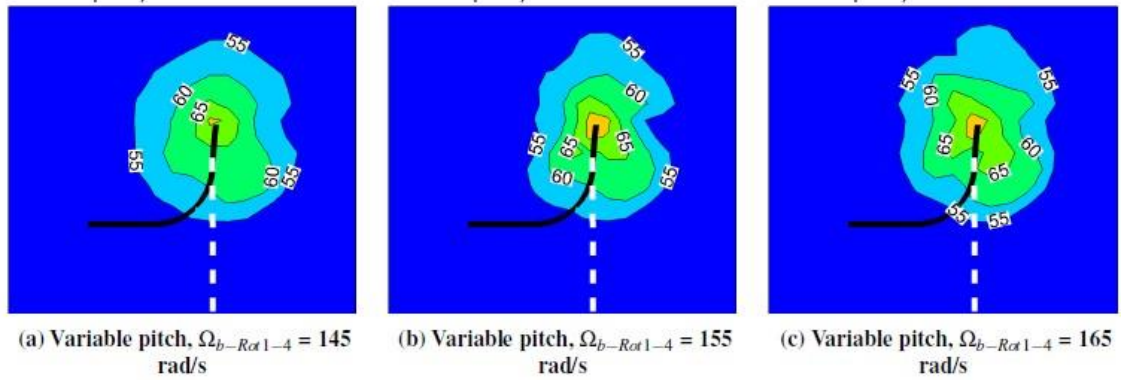


**Figura 5.7** Mitad del giro. Angulo de cabeceo de 5° [14]

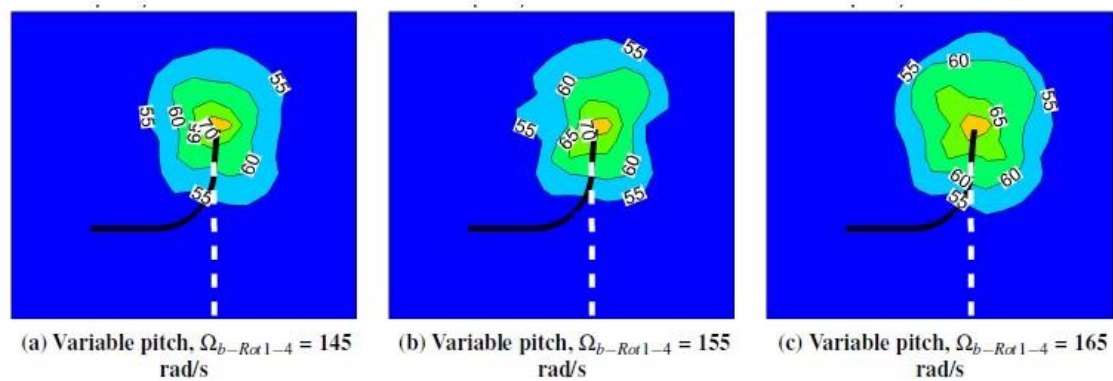


**Figura 5.8** Mitad del giro. Angulo de cabeceo de 10° [14]

- Por último, en la fase final del giro tanto los niveles de empuje de los rotores como los niveles de ruido son similares a la fase a nivel de crucero. Se pueden observar los niveles de ruido en esta última fase del vuelo en la Figura 5.9 y 5.10.



**Figura 5.9** Fase final del giro. Angulo de cabeceo de  $5^\circ$  [14]



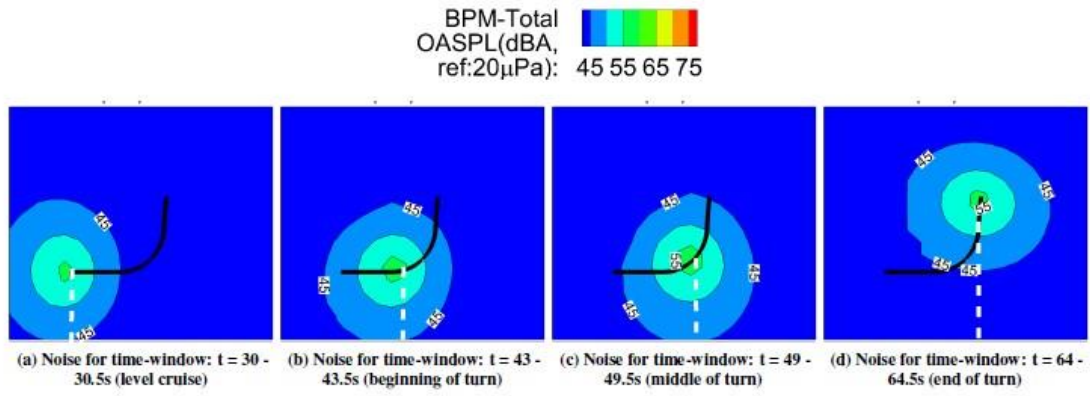
**Figura 5.10** Fase final del giro. Angulo de cabeceo de  $10^\circ$  [14]

### 5.1.2 Resultados del ruido de banda ancha

Los resultados de ruido de banda ancha total obtenidos eran mucho más pequeños en comparación con el ruido determinista. No obstante, el rotor emite ruido de banda ancha a altas frecuencias, donde es sensible para el oído humano, por eso, estos niveles de ruido son calculados ajustados con una ponderación A, ya que se refleja mejor las características de la audición humana.

En la Figura 5.11 se puede observar los niveles de ruido de banda ancha total en las cuatro fases del vuelo. En este caso, la velocidad angular es constante de  $165 \text{ rad/s}$  y el ángulo de cabeceo de  $5^\circ$ . Se evidencia una gran diferencia con los planos de medición del ruido determinista, debido a que el ruido de banda ancha se suma incoherentemente y no se considera la variación temporal de este ruido.

Tal como se menciona en el estudio de EASA [5], los resultados en este estudio llegan a  $55 \text{ dB(A)}$ , nivel sonoro que para el oído humano no es molesto en un entorno urbano.



**Figura 5.11** Ruido de banda ancha [\[14\]](#)

## **CAPÍTULO 6. CASO PRÁCTICO. BUS AEREO BARCELONA – MADRID**

Posteriormente de haber podido estudiar la Movilidad Urbana Aérea, sus funciones, retos, aeronaves e infraestructuras y su mercado y costes, se dispone a estudiar un caso práctico, que consiste en un servicio de bus aéreo que una Barcelona y Madrid en tan solo una hora de viaje. Este estudio constará con el diseño y aplicación del servicio. Para empezar, se estudiará el motivo por el que es un servicio beneficioso en comparación con los servicios de transporte que unen Madrid y Barcelona. Seguidamente, se analizará el diseño y aplicación del servicio.

### **6.1. Contexto del caso practico**

Como ya se ha comentado, uno de los principales retos a superar por la Movilidad Urbana Aérea es combatir la congestión en el transporte debido a la densidad de población. Como se sabe, Madrid, la capital de España, y Barcelona son las dos ciudades más pobladas del país. Por un lado, Madrid es la más poblada de España con un total de 3.305.408 habitantes. Por el otro lado, Barcelona tiene una población total de 1.636.732 habitantes.

En relación a su densidad de población, Barcelona supera a Madrid notablemente debido a que su extensión es mucho más pequeña. Por un lado, la ciudad de Barcelona tiene un área de 101.9km<sup>2</sup>, que dividiéndolo a su número total de habitantes se cuantifica una densidad de población de 16.062,14 habitantes por km<sup>2</sup>. Por otro lado, Madrid tiene un área mucho más grande de 604,3km<sup>2</sup>, que dividiéndolo a su número total de habitantes se calcula una densidad de población de 5.469,81 habitantes por km<sup>2</sup>.

No obstante, no se tendrá en cuenta el gran número de viajeros turistas internaciones que tienen ambas ciudades en este caso práctico. Esto se debe a que este caso se trata de un viaje nacional, en el que se va a suponer que lo llevan a cabo los habitantes de Madrid y Barcelona y sus alrededores, y no el turismo internacional.

Además, otros retos a superar presentes en las ciudades de Barcelona y Madrid son reducir la elevada contaminación medioambiental y conseguir la aceptación social a este nuevo medio de transporte y sus tecnologías innovadoras.

Actualmente, existen diferentes medios de transporte para llevar a cabo el viaje entre Madrid y Barcelona. Con estos datos, se puede estudiar la demanda de este desplazamiento. Antes de todo, hay que tener en cuenta la pandemia de COVID-19, donde los datos de 2020 y 2021 son mucho más bajos a causa de las restricciones. Por tanto, los datos que se procederá a analizar pertenecerán al año 2019, el último año sin restricciones y viajes nacionales producidos con total normalidad.



Ya que un viaje por España puede hacerse con un vehículo particular, y estos datos no están recogidos, se analizarán los datos de transporte de alta velocidad como el AVE o el avión.

En primer lugar, el AVE es el tren de alta velocidad de la empresa Renfe y con más éxito de pasajeros en España. Puede llevar una cantidad de 250 pasajeros y su duración en el trayecto entre Madrid y Barcelona es de unas dos horas y media. La longitud de esta línea es de 649 kilómetros. El coste de obra de esta línea alcanza una cantidad de 8.967 millones de euros, un 31,4% más de lo que se estipuló, con un sobrecoste de 1.732 millones de euros. En relación a los pasajeros, el trayecto directo entre Madrid y Barcelona alcanza un total de 4,3 millones en el año 2019. El pasajero común suele ser personas entre 35 y 44 años que viajen por motivos laborales o de ocio y familiares. Por último, en relación al precio, oscila entre los 65 y 182 euros. Por lo tanto, se han creado nuevas empresas de trenes de alta velocidad que reducen este precio considerablemente como puede ser Ouigo [15].

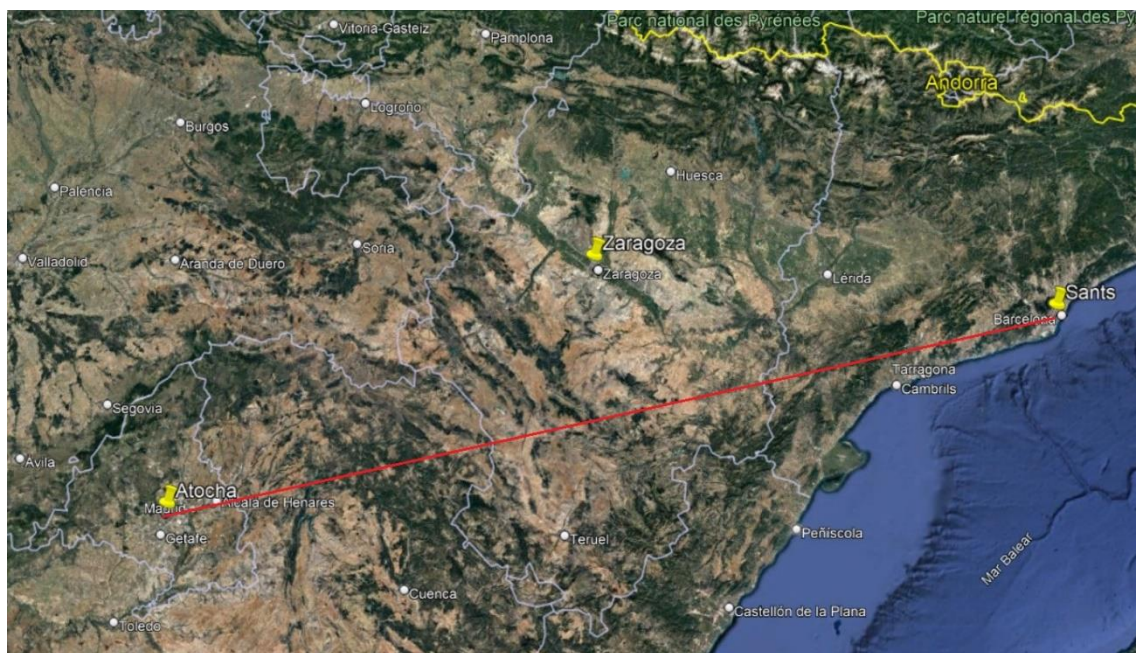
Por otro lado, se encuentra el avión como medio de transporte entre Madrid y Barcelona. Éste, sin embargo, alcanza menos pasajeros anuales, aunque van creciendo año a año. En 2019 alcanzó un total de 2.574.536 pasajeros. No obstante, este trayecto tiene una duración de una hora y cuarto, sin incluir el tiempo estipulado con el que hay que llegar de antelación, y el trayecto desde el lugar de origen al aeropuerto o del aeropuerto al lugar de destino. El trayecto a los aeropuertos, incrementa tanto el tiempo como el coste del viaje, ya que se encuentran a las afueras de ambas ciudades y se accede mediante transporte público, taxi o vehículo propio. Sus tarifas económicas son más baratas ya que cuestan alrededor de los 50 euros [16].

En relación a la contaminación, un vuelo aéreo emite un valor de 115 kilogramos de CO<sub>2</sub> por pasajero, mientras que en el tren de alta velocidad baja a 20 kilogramos de CO<sub>2</sub> [16].

Este estudio se centrará en el trayecto directo de Barcelona a Madrid y viceversa, que será posible en una duración de tan solo una hora. Este trayecto será mediante la aeronave eVTOL diseñada y desarrollada por Kelekona [20], que tiene una capacidad para 40 pasajeros más el piloto, o su mismo peso en carga útil. Aunque cabe destacar que es una duración de trayecto muy optimista por el fabricante, ya que la velocidad máxima a la que puede volar es de 340 km/h, y, por lo tanto, el trayecto durará un poco más de esta hora estimada. Se diseñará las infraestructuras terrestres necesarias para ambas ciudades y una ciudad entre medio de emergencia con tal de ofrecer un lugar donde las aeronaves eVTOL operen y facilitar a los pasajeros el uso de este servicio.

El servicio explicado ayudará a que los medios de transporte existentes que operan entre Madrid y Barcelona no se congestionen debido a una alta demanda, ofreciendo a su vez una alternativa sostenible para el medio ambiente. Además, este servicio conlleva un ahorro de tiempo considerable en el viaje entre las ciudades.

Durante la creación de la ruta, se ha de determinar en primer lugar las ubicaciones de los vertipuertos en ambas ciudades. En Madrid se ubica el vertipuerto en la estación de Atocha, mientras que en Barcelona se ubica el vertipuerto en la estación de Barcelona-Sants. La unión de estos dos vertipuertos se hace mediante un trayecto en línea recta, como se puede ver en la Figura 6.1, donde la línea roja coincide con el trayecto explicado. Dicho desplazamiento alcanza una longitud de 502,8 kilómetros.



**Figura 6.1** Ruta de Madrid a Barcelona

Se escoge una ubicación intermedia situada en la estación Zaragoza-Delicias, en la ciudad de Zaragoza, con el fin de poder ofrecer servicio en caso de emergencia, por ejemplo, fallo de alguno de los motores u otro componente de la aeronave, o por condiciones meteorológicas malas que puedan poner en peligro el vuelo.

## 6.2. Estudio meteorológico

Para empezar el caso práctico, se debe estudiar las condiciones meteorológicas de las ubicaciones donde se situarán las infraestructuras terrestres, para poder analizar si existe algún obstáculo que pueda dificultar o, incluso, impedir el despegue y aterrizaje de las aeronaves. Se observará los parámetros de temperatura, precipitaciones y viento, ya que es una aeronave pilotada.

Los datos obtenidos para Barcelona, Madrid y Zaragoza proceden del servicio meteorológico MeteoBlue [17] [18] [19]. Esta información es la recopilada durante treinta años de investigación, datos más que suficientes para tener en cuenta en el análisis.

### 6.2.1. Barcelona

Para empezar, se estudiará la temperatura de la zona. Este parámetro es importante ya que los helicópteros deben operar en un rango de temperatura entre los  $-20^{\circ}\text{C}$  y los  $50^{\circ}\text{C}$ , por tanto, los aviones eVTOL deberán volar también en un rango de temperaturas similar. Sin embargo, las aeronaves eVTOL no vuelan en altitudes elevadas, por lo que la temperatura no se considera un parámetro limitante.

La temperatura de referencia que se escoge es la temperatura máxima diaria media del mes más caluroso del año. Por tanto, Barcelona tiene las temperaturas mensuales medias de la Tabla 6.1 de a continuación.

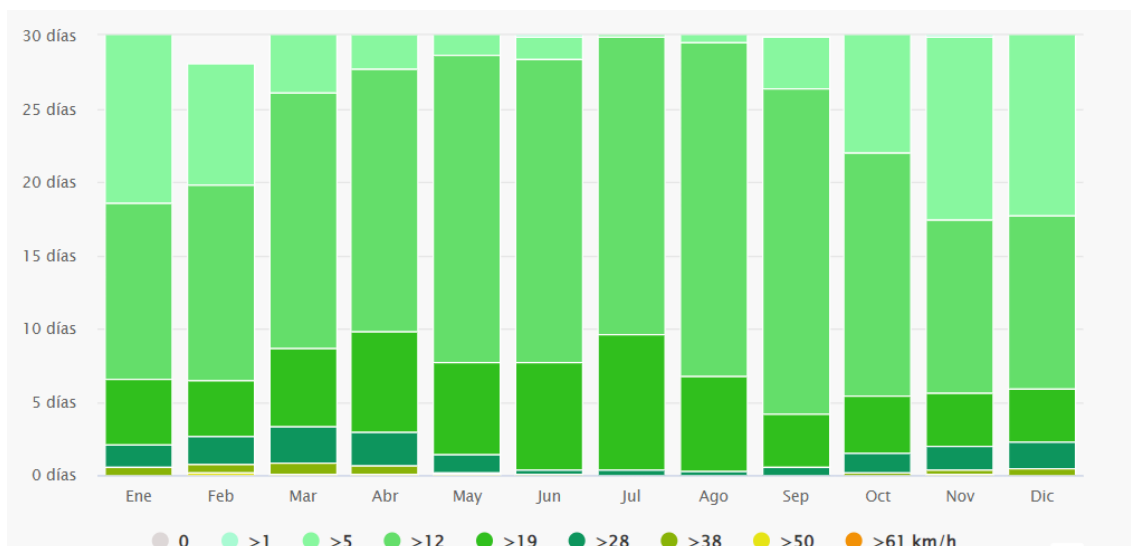
<i>Mes</i>	<i>Temperatura media mensual</i>
<b>Enero</b>	14°C
<b>Febrero</b>	15°C
<b>Marzo</b>	18°C
<b>Abril</b>	19°C
<b>Mayo</b>	23°C
<b>Junio</b>	27°C
<b>Julio</b>	30°C
<b>Agosto</b>	30°C
<b>Septiembre</b>	26°C
<b>Octubre</b>	22°C
<b>Noviembre</b>	17°C
<b>Diciembre</b>	14°C

**Tabla 6.1** Temperatura media mensual de Barcelona [\[17\]](#)

En la tabla anterior se puede observar que los meses más calurosos son julio y agosto, que alcanza una temperatura media máxima absoluta de  $34$  y  $35^{\circ}\text{C}$ . Además, Barcelona alcanza una temperatura media mínima absoluta de  $-4^{\circ}\text{C}$ . Estos valores están dentro del rango de temperaturas en la que debe operar la aeronave eVTOL. Por tanto, la temperatura no es un factor limitante.

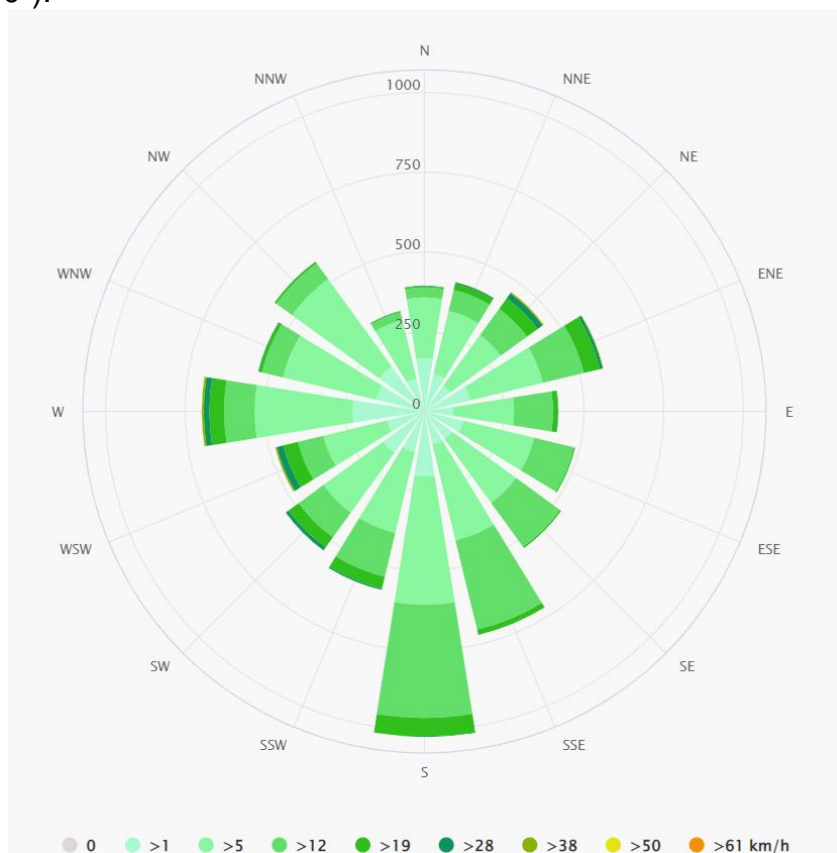
Por otro lado, se estudiará el parámetro de la dirección e intensidad del viento, ya que este parámetro es el más determinante en la elección de la ubicación de la infraestructura.

Por lo que respecta a la intensidad del viento, las aeronaves eVTOL, actualmente, pueden operar con un viento cruzado de 20 nudos. En siguiente Figura 6.2, se puede observar la distribución de la intensidad del viento según sus meses. Como se puede ver, en los meses calurosos predomina una velocidad de viento de 5 a 19 kilómetros por hora, es decir, de 2.6 a 10.2 nudos, mientras que, en los meses fríos, aparecen los vientos con intensidad de 28 a 38 kilómetros por hora, es decir, de 15.1 a 20.5 nudos. Por tanto, por lo que respecta a la intensidad del viento, no se considera un factor limitante para la operación de las aeronaves.



**Figura 6.2** Intensidad del viento de Barcelona [17]

Respecto la orientación del viento, es recomendable que las operaciones de las aeronaves se realicen con el viento de cara. Como se puede analizar en la rosa de vientos de la Figura 6.3, el viento predominante va en la dirección sud. Por tanto, analizando la rosa de vientos, y la dirección a la que la aeronave tiene la trayectoria, la mejor orientación en la que debe despegar la aeronave es el sud ( $270^\circ$ ).



**Figura 6.3** Rosa de vientos de Barcelona [17]

En relación a las precipitaciones, éstas solo serán un factor limitante cuando la precipitación sea en forma de granizo o tormenta, por lo que la aeronave eVTOL no podrá operar. La infraestructura debe ser diseñada con tal de evitar las inundaciones.

En la siguiente Figura 6.4 se puede ver la cantidad de precipitación durante el mes en todo un año. Se puede observar que Barcelona es una ciudad donde predominan los días secos sin precipitación. Generalmente las precipitaciones también son de baja cantidad, excepto en abril, septiembre, octubre y noviembre donde hay días que puede llegar a una cantidad de 20-50 mm de precipitación. Por último, se puede observar que no se produce ningún día de nieve durante el año. En conclusión, la precipitación no es un factor limitante en la ciudad de Barcelona para la creación del vertipuerto.

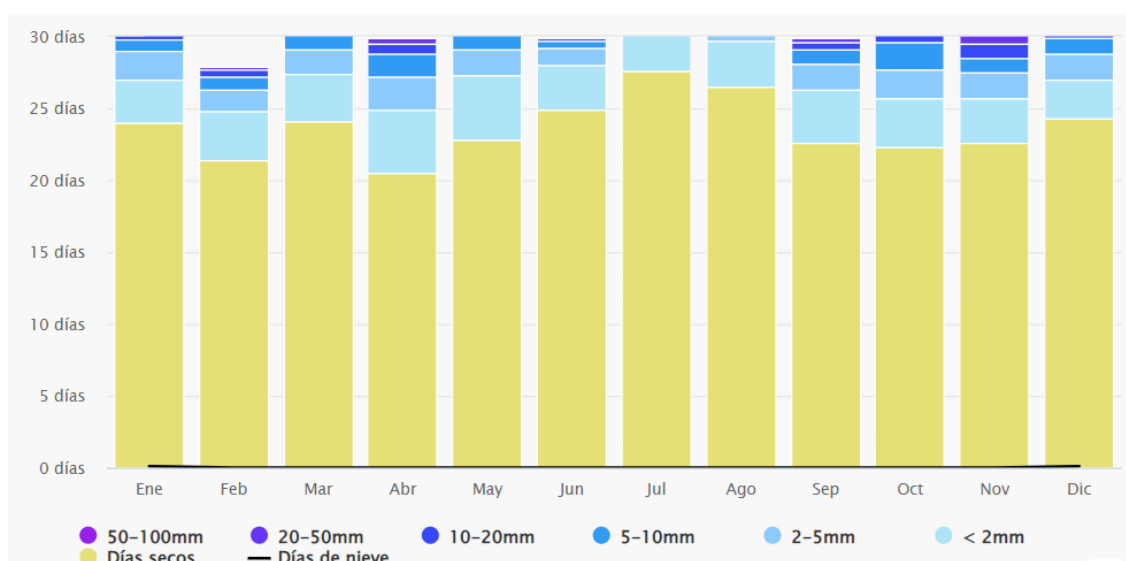


Figura 6.4 Cantidad de precipitación de Barcelona [17]

## 6.2.2. Madrid

Para empezar, se estudiará también la temperatura de la zona. Como se ha mencionado en el apartado 6.2.1., las aeronaves eVTOL deben operar en un rango de temperatura entre los  $-20^{\circ}\text{C}$  y los  $50^{\circ}\text{C}$ , considerándose como un factor no limitante.

Madrid tiene las temperaturas mensuales medias siguientes:

<i>Mes</i>	<i>Temperatura media mensual</i>
<b>Enero</b>	10°C
<b>Febrero</b>	12°C
<b>Marzo</b>	16°C
<b>Abril</b>	18°C
<b>Mayo</b>	23°C
<b>Junio</b>	29°C

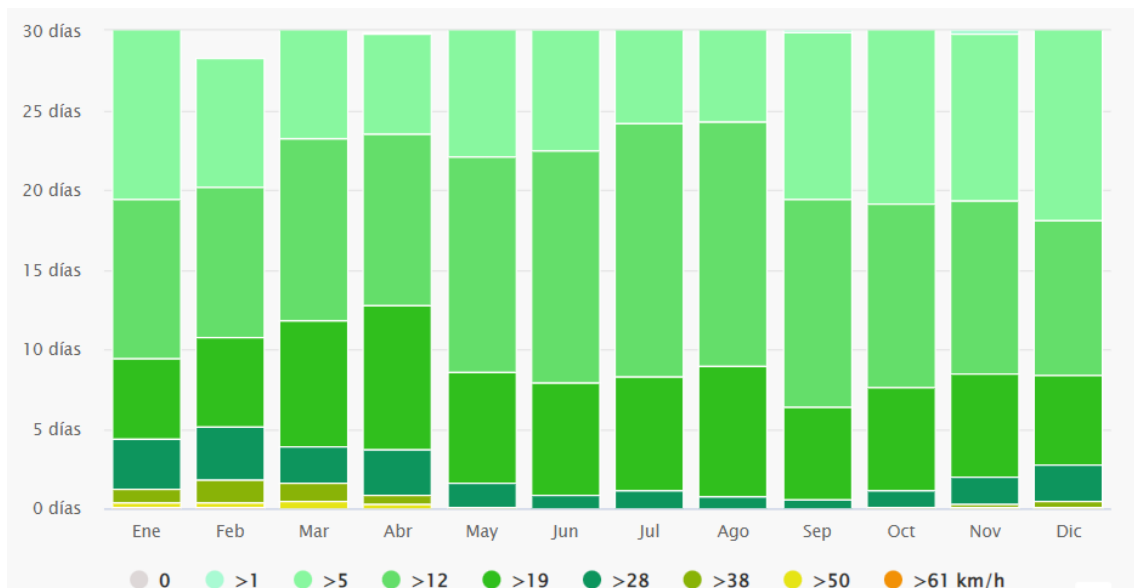
<b>Julio</b>	33°C
<b>Agosto</b>	32°C
<b>Septiembre</b>	27°C
<b>Octubre</b>	21°C
<b>Noviembre</b>	14°C
<b>Diciembre</b>	11°C

**Tabla 6.2** Temperatura media mensual de Madrid [18]

En la tabla anterior se puede observar que los meses más calurosos son julio y agosto, que alcanza una temperatura media máxima absoluta de 34 y 35°C. Además, Barcelona alcanza una temperatura media mínima absoluta de -4°C. Estos valores están dentro del rango de temperaturas en la que debe operar la aeronave eVTOL. Por tanto, la temperatura no es un factor limitante.

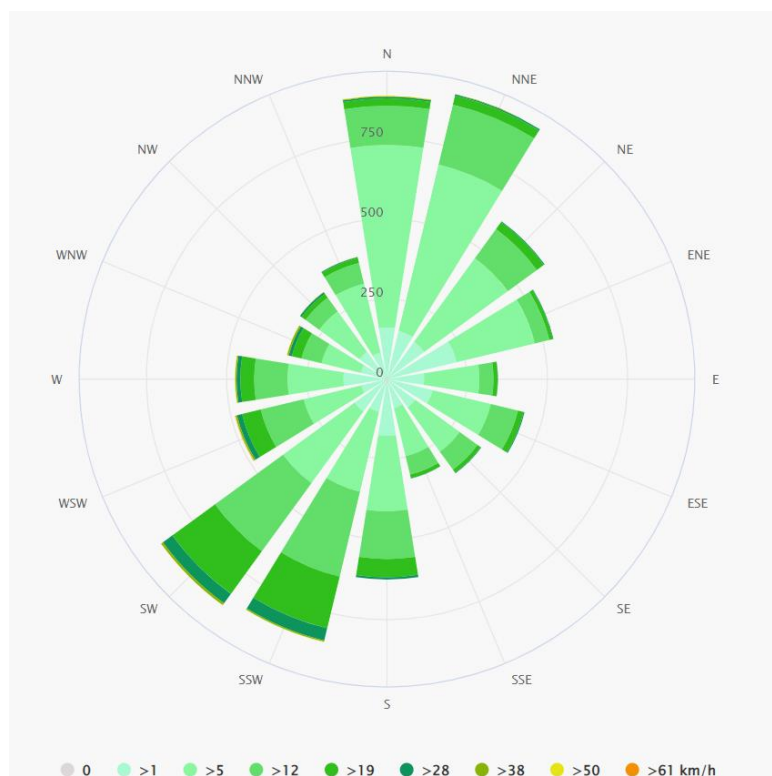
Por otro lado, se estudiará el parámetro de la dirección e intensidad del viento, ya que este parámetro, como se ha mencionado anteriormente, es el más determinante en la elección de la ubicación de la infraestructura.

En siguiente Figura 6.5, se puede observar la distribución de la intensidad del viento según sus meses. Como se puede ver, en Madrid la intensidad del viento no varía notablemente durante el transcurso del año, estando entre 5 y 19 kilómetros por hora, es decir, de 2.6 a 10.9 nudos, generalmente. Sin embargo, en los meses más fríos, de diciembre a abril, la intensidad del viento en algunos días, como máximo 5 días al mes, aumenta de 38 a 50 kilómetros por hora, es decir, de 20.5 a 27 nudos. Por tanto, por lo que respecta a la intensidad del viento, no se considera un factor limitante para la operación de las aeronaves, excepto aquellos días en los meses fríos que puedan tener una intensidad de viento mayor a 20 nudos.



**Figura 6.5** Intensidad del viento de Madrid [18]

Respecto la orientación del viento, es recomendable que las operaciones de las aeronaves se realicen con el viento de cara. Como se puede analizar en la rosa de vientos de la Figura 6.6, el viento predominante va en la dirección nornordeste y norte y sudoeste y sudsudoeste. Por tanto, analizando la rosa de vientos, y la dirección a la que la aeronave tiene la trayectoria, la mejor orientación en la que debe despegar la aeronave es el nornordeste (67°).



**Figura 6.6** Rosa de vientos de Madrid [\[18\]](#)

En relación a las precipitaciones, como se ha mencionado también anteriormente, éstas solo serán un factor limitante cuando la precipitación sea en forma de granizo o tormenta, por lo que la aeronave eVTOL no podrá operar.

En la siguiente Figura 6.7 se puede ver la cantidad de precipitación durante el mes en todo un año. Se puede observar que en Madrid predominan los días secos sin precipitación, sobre todo en los meses más calurosos. Generalmente las precipitaciones también son de baja cantidad, excepto en noviembre donde hay días que puede llegar a una cantidad de 20-50 mm de precipitación. Por último, se puede observar que en enero y diciembre se producen algún día de nieve durante el año, concretamente 0.3 días en total. En conclusión, la precipitación tampoco es un factor limitante en la ciudad de Madrid para la creación del vertipuerto.

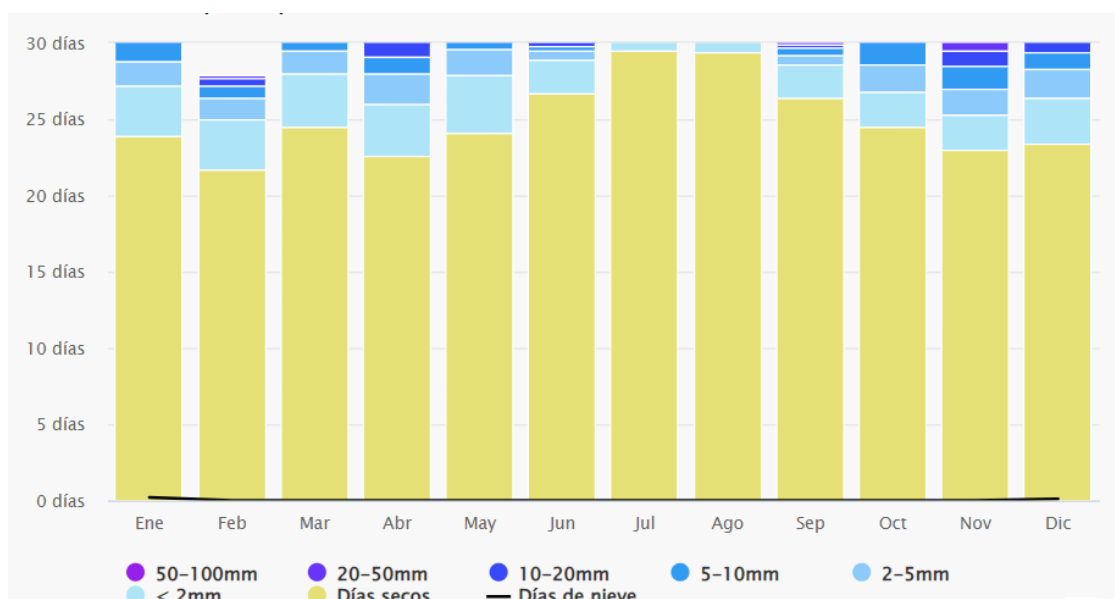


Figura 6.7 Cantidad de precipitación de Madrid [18]

### 6.2.3 Zaragoza

Para empezar, al igual que en las ciudades anteriores, se estudiará también la temperatura de la zona. Como ya se ha mencionado, las aeronaves eVTOL deben operar en un rango de temperatura entre los  $-20^{\circ}\text{C}$  y los  $50^{\circ}\text{C}$ , considerándose como un factor no limitante.

Zaragoza tiene las temperaturas mensuales medias siguientes:

<i>Mes</i>	<i>Temperatura media mensual</i>
<i>Enero</i>	12°C
<i>Febrero</i>	14°C
<i>Marzo</i>	18°C
<i>Abril</i>	20°C
<i>Mayo</i>	25°C
<i>Junio</i>	30°C
<i>Julio</i>	33°C
<i>Agosto</i>	33°C
<i>Septiembre</i>	28°C
<i>Octubre</i>	23°C
<i>Noviembre</i>	16°C
<i>Diciembre</i>	13°C

Tabla 6.3 Temperatura media mensual de Zaragoza [19]

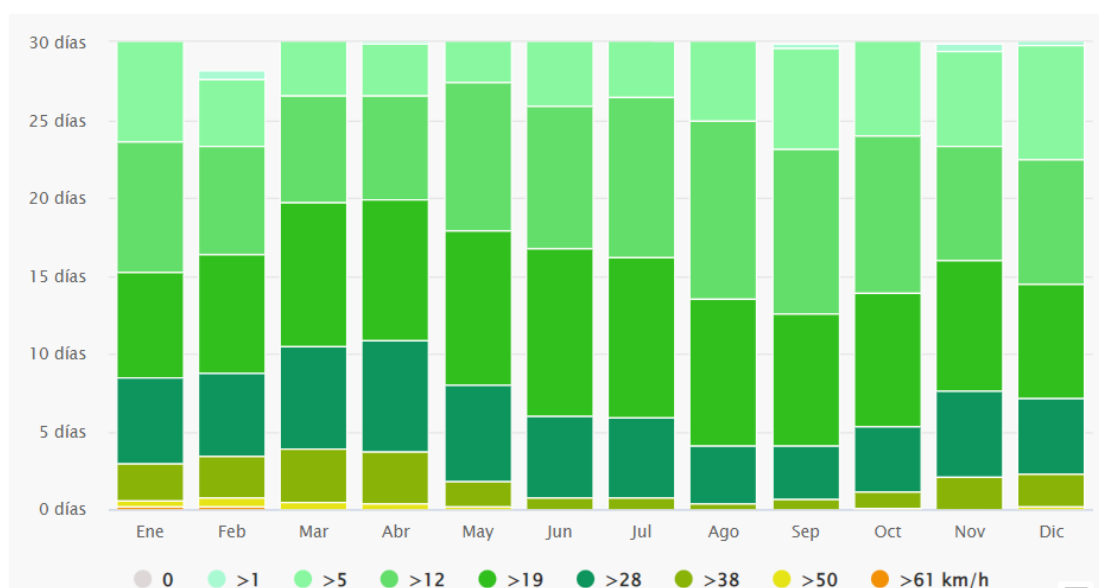
En la tabla anterior se puede observar que los meses más calurosos son julio y agosto, que alcanzan una temperatura media máxima absoluta de  $40^{\circ}\text{C}$  ambos. Además, Zaragoza alcanza una temperatura media mínima absoluta de  $-4^{\circ}\text{C}$ .



Estos valores están dentro del rango de temperaturas en la que debe operar la aeronave eVTOL. Por tanto, la temperatura no es un factor limitante.

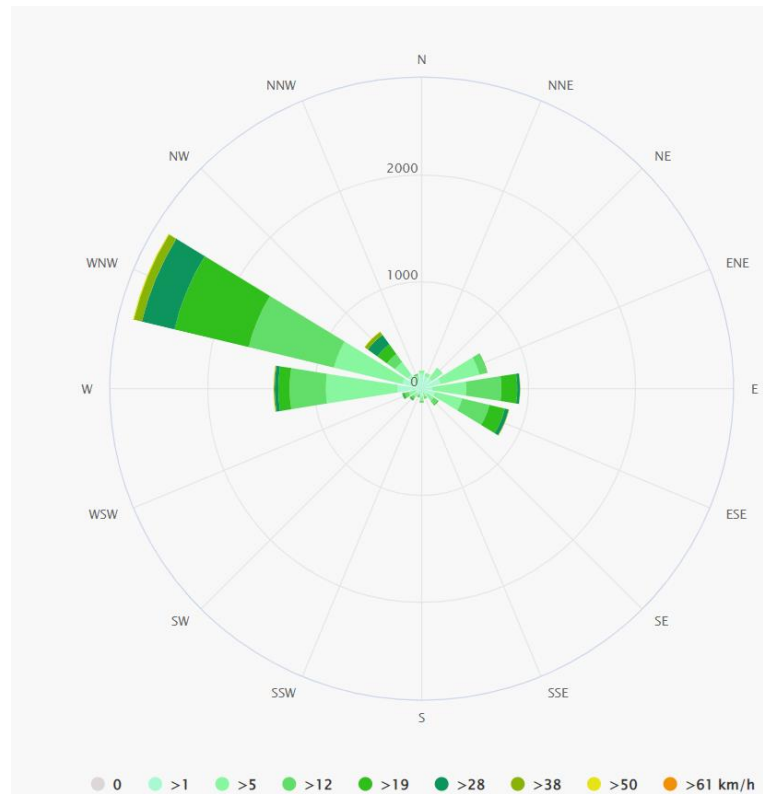
Por otro lado, se estudiará el parámetro de la dirección e intensidad del viento, ya que este parámetro, como se ha mencionado anteriormente, es el más determinante en la elección de la ubicación de la infraestructura.

En siguiente Figura 6.8, se puede observar la distribución de la intensidad del viento según sus meses. Como se puede ver, en Zaragoza la intensidad del viento no varía notablemente durante el transcurso del año. No obstante, la intensidad del viento en comparación de las otras dos ciudades es más elevada, alcanzando fácilmente una velocidad de hasta 38 kilómetros por hora, es decir, 20.5 nudos. Además, en los meses fríos, la intensidad del viento puede llegar a alcanzar los 61 kilómetros por hora, es decir, 33 nudos, incluso apareciendo en los meses de enero y febrero, 0.2 días de vientos con una intensidad mayor de 61 kilómetros por hora (33 nudos). Por tanto, por lo que respecta a la intensidad del viento, no se considera un factor limitante para la operación de las aeronaves, excepto aquellos días en los meses fríos que puedan tener una intensidad de viento mayor a 20 nudos.



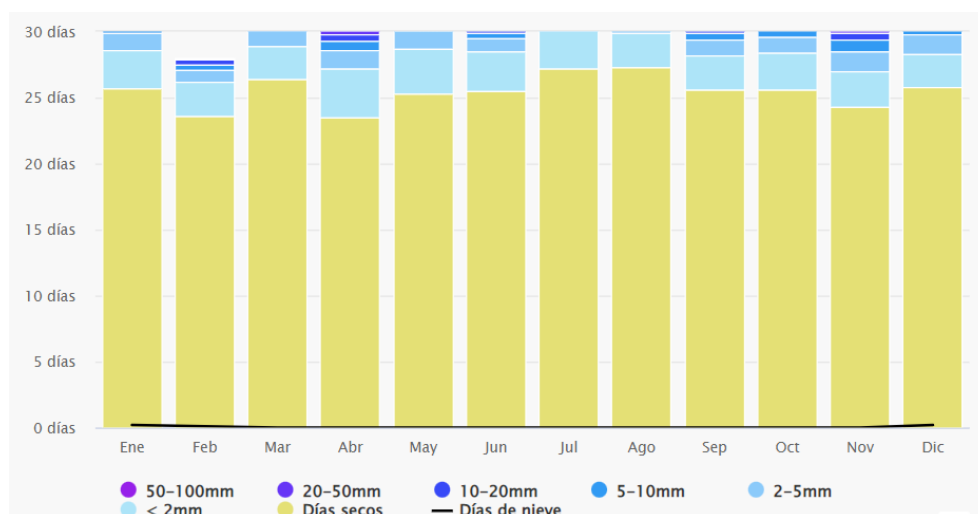
**Figura 6.8** Intensidad del viento de Zaragoza [19]

Respecto la orientación del viento, es recomendable que las operaciones de las aeronaves se realicen con el viento de cara. Como se puede analizar en la rosa de vientos de la Figura 6.9, el viento predominante va en la dirección oeste noroeste. Por tanto, analizando la rosa de vientos la mejor orientación en la que debe despegar la aeronave es la oeste noroeste (157°).



**Figura 6.9** Rosa de vientos de Zaragoza [19]

En relación a las precipitaciones, éstas solo serán un factor limitante cuando sea en forma de granizo o tormenta, por lo que la aeronave eVTOL no podrá operar. En la siguiente Figura 6.10 se puede ver la cantidad de precipitación durante el mes en todo un año. Se puede observar que en Zaragoza predominan los días secos sin precipitación durante todo el año. Generalmente las precipitaciones también son de baja cantidad, excepto abril y noviembre donde hay días que puede llegar a una cantidad de 20-50 mm de precipitación. Por último, se puede observar que de diciembre a febrero se producen algún día de nieve durante el año, concretamente 0.5 días en total. En conclusión, la precipitación tampoco es un factor limitante en la ciudad de Zaragoza para la creación del vertipuerto.



**Figura 6.10** Cantidad de precipitación de Zaragoza [19]

### 6.3. Aeronave eVTOL

La aeronave eVTOL escogida para este caso práctico es el autobús aéreo diseñado y desarrollado por Kelekona [20]. Este autobús tiene una capacidad para 40 pasajeros y el piloto, es decir, un total de 41 personas. Hablando de carga útil, su capacidad es de 10000 libras (4536 kilogramos), con un peso total de 19,5 toneladas. Las dimensiones de dicha aeronave son de 13,7 metros de diámetro, medida suficiente para que pueda usar el helipuerto, y una altura de 2,75 metros [21].

La aeronave está compuesta por aluminio impreso en 3D, de esta forma aumenta el rendimiento en el vuelo. Consta de ocho ventiladores con hélices que pueden variar su dirección en cada fase de vuelo, de manera que se pueda llevar a cabo tanto el despegue y aterrizaje cuando se colocan de forma paralela al suelo como el vuelo en crucero cuando los ventiladores se colocan de forma perpendicular. Estos rotores son construidos en el interior de conductos, que además de ser más eficiente energéticamente, reduce el nivel de ruido de la aeronave. El ruido emitido por la aeronave será inferior al ruido emitido por un helicóptero.

La batería utilizada es intercambiable y minimiza el tiempo de respuesta cuando se vuela de un destino a otro. La batería utilizada es de 3,6 MWh. Esta batería supone un peso de 13,5 toneladas y consta de varias baterías que alimentan cada uno de los ocho rotores, que suponen el 70% del peso total. La compañía asegura que es posible desplazarse hasta un rango de 600 kilómetros. Tiene una carga rápida, por lo que se promete que en tan solo una hora la batería esté totalmente cargada [21].

Asimismo, la aeronave de Kelekona consta de distintos sensores. Estos sensores pueden ser tanto cámaras como radares que proporcionan la información medioambiental en un radio de 160 kilómetros. Con estos datos se puede detectar y evitar distintos obstáculos como aviones desconocidos, infraestructuras desconocidas y aves. También proporciona la información necesaria para la detección de anomalías meteorológicas que se puedan evitar.

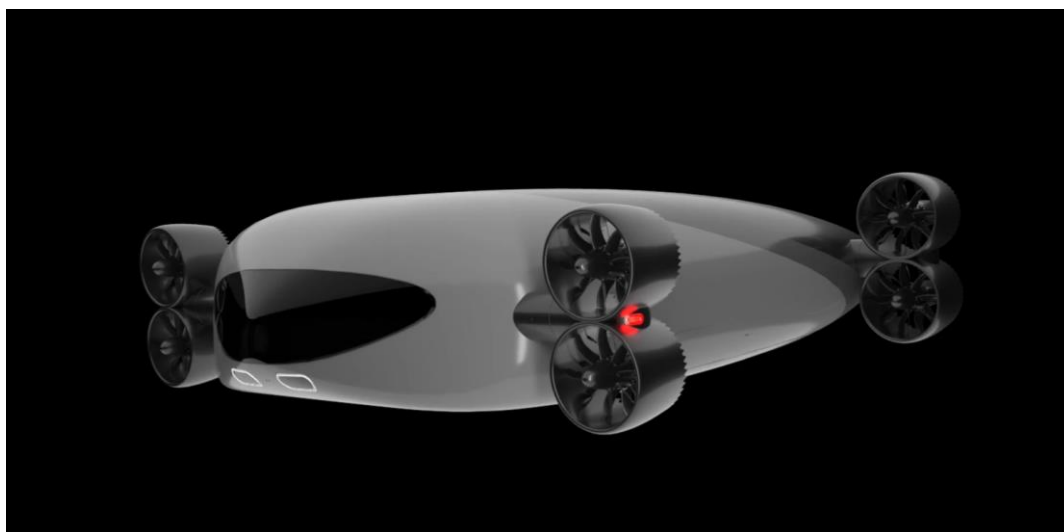


Figura 6.11 Kelekona [20]

## **6.4. Diseño del vertipuerto**

La infraestructura terrestre necesaria para el servicio será similar para las diferentes tres ciudades. Se diseñará un vertipuerto siguiendo los requerimientos explicados en el apartado 4.1 siguiendo la normativa de EASA [\[13\]](#).

### **6.4.1. Plataforma de despegue y aterrizaje (TLOF)**

Como se ha explicado en el apartado 4.1., debe haber al menos un TLOF que se ubicará en el centro de la FATO.

Esta plataforma consistirá en una superficie de forma circular y debe extenderse 0.83 veces el diámetro de la aeronave, garantizando la contención del tren de aterrizaje en esta área. La aeronave que tenemos en funcionamiento tiene un diámetro de 13,7 metros, por tanto, el TLOF en este caso mide 11,4 metros de longitud y de amplitud.

### **6.4.2. Área de despegue y aproximación final (FATO)**

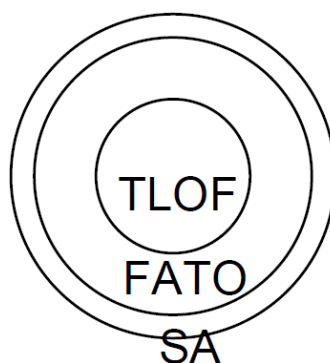
Esta área es donde se produce el despegue y la aproximación final de la aeronave. Esta área debe ser una zona libre de obstáculos, por tanto, será tratada para evitar piedras u otros desechos que puedan afectar a la aeronave y la operación realizada.

En el caso de la FATO, la superficie debe ser de forma circular. Esta superficie debe medir 1,5 veces el diámetro de la aeronave, que son 20,55 metros, y su pendiente será de un 2%.

### **6.4.3. Área de seguridad (SA)**

El área de seguridad es la que envuelve la FATO con tal de reducir riesgos de daños en la aeronave. Esta área también es una zona libre de obstáculos, por tanto, debe ser tratada y retirar las piedras u otros desechos y aquellos objetos que estén por encima de la FATO.

El área de seguridad se extiende por los lados 0,25 veces el diámetro de la aeronave o 3 metros, lo que sea mayor. En este caso, es mayor 0,25 veces el diámetro de la aeronave, que es un total de 3,45 metros. En la Figura 6.12 se puede observar la forma y dimensiones final del TLOF, FATO y área de seguridad.



**Figura 6.12** TLOF, FATO y Área de Seguridad

Por lo que respecta a la limitación de obstáculos para el vertipuerto, a partir del borde de la SA divergen los bordes laterales un 15% a cada lado de la línea central. Estos bordes divergen hasta que se alcanza 7 veces el valor del diámetro de la aeronave. Por último, estos bordes laterales se mantienen constantes hasta que se alcanza una altura de 152 metros (500 pies), a una pendiente determinada por el operador de la aeronave, por encima de la elevación de la FATO. La orientación de esta limitación de obstáculos, y por tanto la del vertipuerto, se colocará en función de lo escogido en el estudio meteorológico del apartado 6.2 según la rosa de vientos. Esta limitación está representada en la Figura 6.13 junto a la infraestructura total del vertipuerto.

#### **6.4.4. Puestos de estacionamiento**

Como el servicio del bus aéreo no tendrá un número elevado de operaciones, se escoge un total de dos puestos de estacionamiento para el embarque y desembarque de las personas y carga de forma segura, por tanto, estarán ubicados cerca de la terminal.

Uno de los dos puestos de estacionamiento constará de una estación de carga de la batería, mientras que el otro estará únicamente destinado para la embarcación, por tal de abaratar costes. La estancia donde se producirá el mantenimiento y reparación de las aeronaves será en el hangar, donde se guardan las aeronaves.

La superficie de los puestos de estacionamiento será de forma circular. Su diámetro medirá 1,2 veces el diámetro de la aeronave. En este servicio que la aeronave mide 13,7 metros, el puesto de estacionamiento será un círculo cuyo diámetro sea de 16,45 metros. Además, el puesto de estacionamiento debe tener un área de seguridad que se extiende del puesto de estacionamiento 0,4 veces el diámetro de la aeronave. Esta área de seguridad, por tanto, se extiende 5,5 metros.

Para el desplazamiento de la aeronave del puesto de estacionamiento a la plataforma de despegue y aterrizaje será mediante la ayuda de un equipo de movimiento de tierra a través de las calles de rodaje.

#### **6.4.5. Calles de rodaje**

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la aeronave se desplazará por el vertipuerto por tierra con ayuda de un equipo de movimiento de tierra. En este caso, la anchura de la ruta de rodaje debe ser mínimo de 1,5 veces el diámetro de la aeronave. Por tanto, la anchura será igual a 21 metros.

#### **6.4.6. Edificio terminal**

El edificio donde los usuarios empezarán su servicio con este bus aéreo es la terminal de pasajeros. Este edificio debe ser dotados de las funciones adecuadas igual que en una terminal de pasajeros de un aeropuerto.

La terminal de pasajeros será una infraestructura pequeña ya que, al estar en medio de la ciudad, la superficie destinada al vertipuerto es menor que la superficie que se destina a los aeropuertos.

Aunque la infraestructura sea menor a la de una terminal aeroportuaria, debe ofrecer las mismas funcionalidades. No obstante, se deberán retirar los servicios de comercio, alimentación u ocio debido a su superficie reducida. Por lo tanto, al igual que un aeropuerto, el vertipuerto debe constar de las funcionalidades explicadas a continuación.

Para los pasajeros que se desplacen hasta el vertipuerto en su vehículo propio, se les deberá proporcionar una zona de aparcamiento. Seguidamente, los pasajeros deberán entrar a la terminal por el hall de entrada que constará de un servicio de información y de una taquilla que venda vuelos para aquellos usuarios que no lo hayan comprado con antelación. Más adelante, estará la sala de espera para los pasajeros, equipada de asientos para que las personas puedan sentarse, y tendrá los aseos. Por último, para la embarcación de los pasajeros, la terminal tendrá el control de seguridad con las salas de embarque.

En el caso de el vertipuerto de Zaragoza, al ser de emergencia por si se produce algún imprevisto, éste solo constará de la sala de espera con aseos donde los pasajeros podrán esperar hasta la reparación de la aeronave, mejora de las condiciones meteorológicas o el uso de una aeronave guardada en un puesto de estacionamiento en el vertipuerto. También dispondrá de las salas de embarque para la embarcación a la aeronave correspondiente.

Las dimensiones necesarias para la terminal de pasajeros deben hacerse con el cálculo de pasajeros en hora punta, un estudio de colas y otros estudios auxiliares. En el presente trabajo, el diseño de este edificio es secundario, por lo

que se calculará en función de las operaciones por hora realizados en el vertipuerto.

En el caso de Barcelona y Madrid, se producirán 2 operaciones por hora, ya que despegará un vuelo y aterrizará otro vuelo cada una hora, ya que así, hay tiempo para poder cargar la batería y hacerle alguna inspección rápida. Sin embargo, se hará un mantenimiento semanal de los vehículos. Necesitaremos un total de 4 vehículos, dos en cada ciudad, por si se produce algún fallo, tener vehículos disponibles. Por ejemplo, en la siguiente Tabla 6.7 se puede ver un posible horario de vuelos. Para finalizar, el servicio finalizará con un último vuelo de Madrid a Barcelona a las 21:30, por tanto, 28 vuelos totales en un día.

	<b>Salida</b>	<b>Llegada</b>
<b>Barcelona – Madrid</b>	8:00	9:00
<b>Madrid – Barcelona</b>	8:30	9:30
<b>Barcelona – Madrid</b>	9:00	10:00
<b>Madrid – Barcelona</b>	9:30	10:30

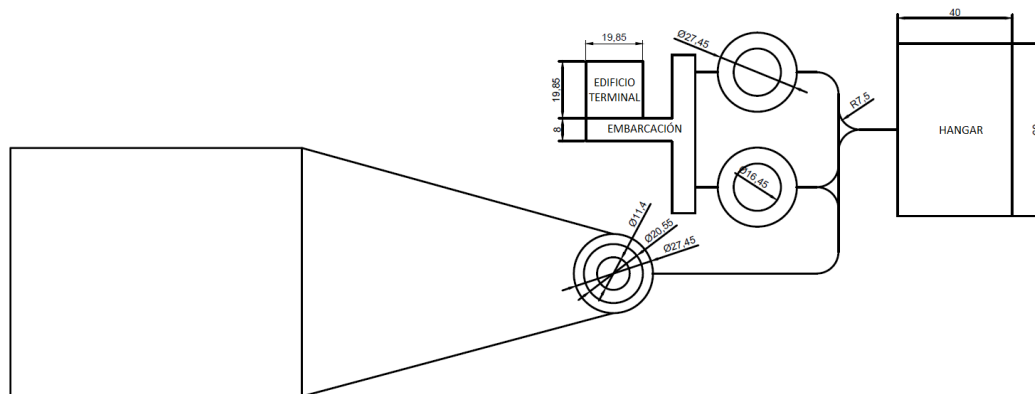
**Tabla 6.4** Horario de vuelos

Por lo tanto, como la capacidad del bus aéreo es para 41 personas, incluyendo al piloto, la superficie para la sala central debe ser la siguiente. Además, se tiene en cuenta un 20% para posibles imprevistos, en caso de retraso de vuelos por condiciones meteorológicas o fallos en la aeronave. Se escoge un espacio por pasajero de 4m<sup>2</sup> ya que no todo el edificio es para la sala de espera, pero es donde estarán más tiempo, por lo que se necesita más espacio.

$$S = 2 \frac{\text{operaciones}}{\text{hora}} \cdot 41 \frac{\text{pasajeros}}{\text{operación}} \cdot 4 \frac{\text{m}^2}{\text{pasajero}} \cdot 1.2 = 394\text{m}^2$$

En el caso del vertipuerto de Zaragoza, aunque la probabilidad de fallo de motor o condiciones meteorológicas malas sea baja, puede producirse en una misma hora estos casos hasta 2 veces. Por tanto, aunque la probabilidad sea baja, y el vertipuerto de Zaragoza no necesite tantas funcionalidades, se mantendrán las dimensiones de la superficie igual que para los vertipuertos de Madrid y Barcelona.

Finalmente, a continuación, en la Figura 6.13 se presenta la infraestructura total de los vertipuertos de las tres ciudades, diseñada con el programa AutoCAD.



**Figura 6.13** Plano del vertipuerto

#### 6.4.7. Ayudas visuales del vertipuerto

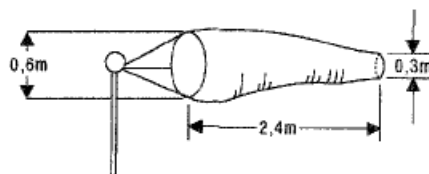
Este apartado se basará en el Capítulo E de “Especificaciones técnicas del prototipo para el diseño de vertipuertos VFR para su funcionamiento con aeronaves tripuladas con capacidad VTOL” de la EASA [13] que se centra en las ayudas visuales en vertipuertos. El objetivo de estas ayudas es la facilitación de maniobras en tierra y los aterrizajes y despegues de la aeronave. Son importantes ya que, al ser un avión eVTOL pilotado, ayudará al piloto en todas sus maniobras. Las ayudas visuales constan tanto de indicadores y señales como de ayudas luminosas, explicado a continuación.

##### 6.4.7.1. Indicador de la dirección del viento

En un helipuerto es obligatorio el uso de un indicador de la dirección del viento, por tanto, se escoge incorporar uno para el vertipuerto. El indicador de velle debe ser colocado en un lugar que los pilotos de la aeronave eVTOL puedan verlo en vuelo y que no sufra perturbaciones de la corriente de aire producidas por objetos o por el rotor.

El indicador debe ser un cono truncado de tela con una longitud de 2,4 metros y los diámetros de 0,6 y 0,3 metros. El color más común para este indicador es el color naranja, aunque puede ser de cualquier color que pueda diferenciarse con el fondo. Se escoge un indicador de color naranja con bandas blancas. Debe estar ubicado cerca de la FATO, a unos 50 o 100 metros del borde a una altura de 200 metros.

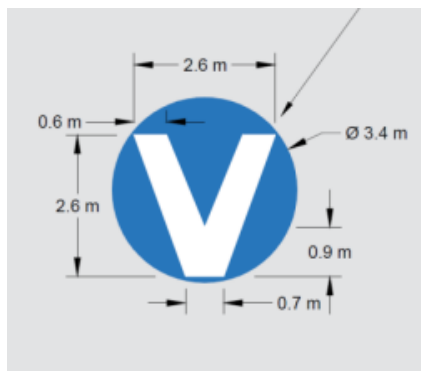




**Figura 6.14** Indicador de la dirección del viento [22]

#### 6.4.7.2. Señal de identificación de vertipuerto

La señal será ubicada en el centro de la FATO, que coincide con el centro de la TLOF, para identificarle al piloto la presencia de un vertipuerto. Consistirá en una letra V de color blanco dentro de un círculo azul. Sus dimensiones son representadas en la Figura 6.14.



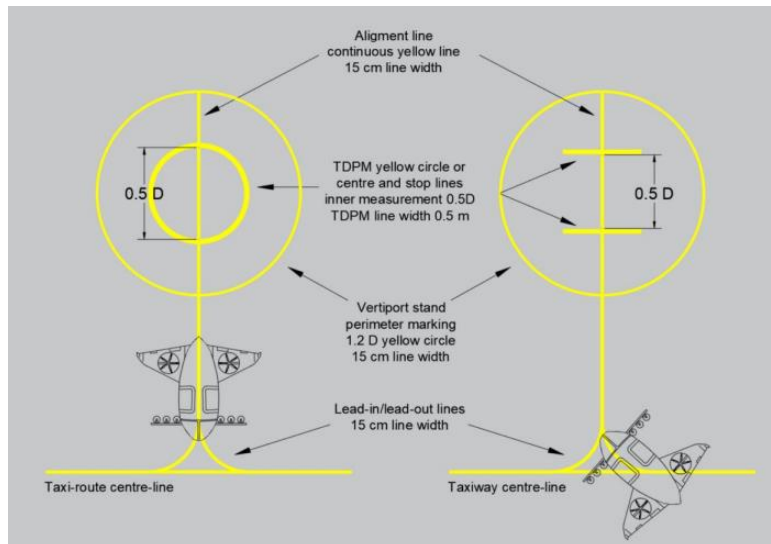
**Figura 6.15** Señal de identificación del vertipuerto [13]

#### 6.4.7.3. Señal de punto de toma de contacto y posicionamiento

Esta señal es proporcionada para que el piloto posicione la aeronave con precisión en un área libre de obstáculos, mediante el marcado del perímetro del puesto de estacionamiento de la aeronave, que cuando el asiento del piloto esté encima sobre la marca y el tren de aterrizaje dentro del área, la aeronave estará libre de cualquier obstáculo con un margen de seguridad.

Esta señal se ubica en el centro de la TLOF, y en caso de los puestos de estacionamiento también se ubica en el centro de su superficie. La señal consiste en un círculo de color amarillo con un diámetro de 0,5 veces el diámetro de la aeronave. El diámetro de esta circunferencia, en el presente trabajo, es de 6,85 metros.

Se puede ver esta señal en la Figura 6.15 a continuación.



**Figura 6.16** Señal de posicionamiento en el puesto de estacionamiento [13]

#### 6.4.7.4. Señal de calle de rodaje

A pesar de ser señales no necesarias, se proporcionarán en el caso del vertipuerto. La señal en eje de la calle de rodaje consiste en una línea amarilla continua de 15 centímetros de anchura. En los bordes de la calle de rodaje existirán dos líneas dobles continuas cada una, de también color amarillo y de igual anchura 15 centímetros separadas entre si mediante otros 15 centímetros. Se pueden colocar además balizas al borde de las calles de rodaje de color azul, de una altura de 25 centímetros.

#### 6.4.7.5. Faro del vertipuerto

El faro ayudará al vertipuerto a ser identificado por el piloto a largo alcance y poder diferenciarlo de otros elementos posibles de la ciudad. Este faro estará ubicado en una posición elevada, sin que deslumbre al piloto a corto alcance, encima del edificio terminal.

El funcionamiento del faro consiste en la emisión de series repetidas de cuatro destellos blancos en un intervalo total de 1,2 segundos. Las series se repetirán cada 1,2 segundos. De la referida serie los tres primeros destellos tienen una duración entre 0,5 y 2 milisegundos y el último destello de 0,4 segundos.

El faro alumbrará en todos los ángulos en azimut y éste puede ser apagado en caso de deslumbrar a los pilotos a corta distancia durante la aproximación y aterrizaje.

#### 6.4.7.6. Sistema de iluminación de aproximación

Su objetivo es indicar al piloto la mejor dirección de aproximación durante la noche. Se ubica en línea recta de la dirección de la aproximación y está compuesto por tres luces separadas en dicha línea a un intervalo de 30 metros y una barra transversal compuesta de cinco luces espaciadas entre sí 4,50 metros y la barra a una distancia de 90 metros desde el borde de la FATO. Si fuera necesario se incorporarán más luces separadas a un intervalo de 30 metros cada una. Estas luces deben ser fijas, blancas y omnidireccionales, tal como muestra la Figura 6.16.

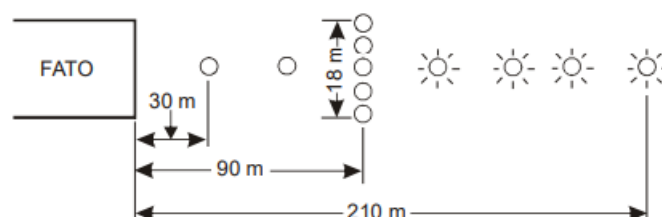


Figura 6.17 Sistema de iluminación de aproximación [13]

#### 6.4.7.7. Sistema de iluminación de la FATO

Este sistema de iluminación está ubicado en la FATO para el uso nocturno. Las luces utilizadas estarán a lo largo del borde de la FATO para indicar la forma, ubicación y extensión de la misma y en este caso estará compuesta de 13 luces a un intervalo de 5 metros cada una. Las luces serán omnidireccionales fijas de color blanco con intensidad variable.

#### 6.4.7.8. Sistema de iluminación de área de toma de contacto

Este sistema de iluminación está ubicado en la TLOF para el uso nocturno, con el objetivo de proporcionar señales para permitir que se establezca un ángulo de aproximación adecuado. Este sistema de iluminación constará de 18 luces perimetrales a lo largo del borde de la TLOF separadas un intervalo de 2 metros. Las luces serán omnidireccionales fijas de color verde.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS**

La Movilidad Urbana Aérea se adentra en la sociedad como una idea innovadora tanto tecnológicamente como su funcionalidad que ofrecerá una comodidad en la población. Sin embargo, también presenta los retos que se deben estudiar con tal de conseguir el éxito de su servicio. Su aceptación y éxito se deberá a la demostración de que sea un medio de transporte seguro, eficaz, cómodo y sostenible tanto visualmente como acústicamente.

En relación al caso práctico, sería interesante el cálculo de pasajeros en hora punta y, en consecuencia, dimensionar el edificio terminal y poder distribuir de manera lógica sus funcionalidades. Además, también se podría estudiar el dónde y cómo ubicar el vertipuerto en la ubicación escogida. La Movilidad Urbana Aérea es un servicio para usar dentro de una gran ciudad o entre ciudades. Dichas ciudades deben tener la infraestructura terrestre adecuada para su uso donde cuya superficie disponible es muy limitada. Además, debe ser un servicio que económicamente sea asequible para la población, y a la vez viable para las empresas y agencias desarrolladoras del servicio.

No obstante, aún hay algunas limitaciones para el uso de las aeronaves eVTOL. Estos aviones ya están empezando a ser diseñados y desarrollados por diferentes empresas y fabricantes que utilizan rotores y hélices que emiten cierto ruido. Este ruido, sin embargo, es difícil de predecir su nivel, por lo que se están llevando a cabo diferentes simuladores para su predicción y el impacto que generará el ruido a la población.

Por último, la infraestructura terrestre debe constar de una fuente de alimentación suficiente para poder cargar las aeronaves eVTOL pertinentes. La red eléctrica debe ser fiable y puede modificar la ubicación de los vertipuertos y, además, puede causar contaminación tanto visual como acústica para las poblaciones cercanas.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Grandl, G., Doppler, S., Ostgathe, M., Salib, J., Cachay, J., Ross, H., "The future of vertical mobility", *Porsche Consulting*, (2018). [Online]. Available: [https://www.porsche-consulting.com/fileadmin/docs/04\\_Medien/Publicationen/TT1371\\_The\\_Future\\_of\\_Vertical\\_Mobility/The\\_Future\\_of\\_Vertical\\_Mobility\\_A\\_Porsche\\_Consulting\\_study\\_\\_C\\_2018.pdf](https://www.porsche-consulting.com/fileadmin/docs/04_Medien/Publicationen/TT1371_The_Future_of_Vertical_Mobility/The_Future_of_Vertical_Mobility_A_Porsche_Consulting_study__C_2018.pdf)
- [2] Scalabrin, G., Negm, W., Brier, P., Bataille, C., Bonicel, F., Camara, N., Chabaudie, J., Chouard, C., Ezquerro, I., Martínez, A., Garg, S., Ji, V., Labracherie, L., Calderón, H.J., Pal, S., Pappas, D., Rodríguez, M., Taylor, T., Tortochaux, D., Arjona, M., "En-route to urban air mobility", *Altran*, (2020). [Online]. Available: <https://capgemini-engineering.com/assets/content/uploads/sites/27/2020/03/en-route-to-urban-air-mobility.pdf>
- [3] Head, E., "eVTOL basics for investors", *eVTOL.com*, (2021). [Online]. Available: <https://assets.evtol.com/wp-content/uploads/2021/07/eVTOL-Basics-For-Investors.pdf>
- [4] EASA, "Introduction of a regulatory framework for the operation of drones", *EASA*, (2022). [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/136705/en>
- [5] EASA, "Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe", *EASA*, (2021). [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/127760/en>
- [6] Volocopter VoloCity. (2022). <https://evtol.news/volocopter-velocity/>
- [7] Joby Aviation S4. (2022). <https://evtol.news/joby-s4>
- [8] Beta Technologies ALIA. (2022). <https://evtol.news/beta-technologies-alia/>
- [9] Rajendran, S., Srinivas, S., "Air taxi service for urban mobility: a critical review of recent developments, future challenges, and opportunities", *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 143, 102090, (2020). [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102090>
- [10] Goyal, R., Cohen, A., "Advanced Air Mobility: Opportunities and Challenges Deploying eVTOLs for Air Ambulance Service", *Appl. Sci.*, 12, 1183, (2022). [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/app12031183>
- [11] T. Doo, J., A. Tsairides, M., D. Pavel, M., Smith, M., Didey, A., Bennet, E., Hange, C., Bromfield, M., P. Diller, N., Mooberry, J., "NASA Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft Technology for Public Services – A White Paper", *NASA*, (2021). [Online]. Available: <https://www.sti.nasa.gov>
- [12] Mihara, Y., Pawnlada, P., Nakamoto, A., Nakamura, T., Nakano, M., "Cost Analysis of eVTOL Configuration Design for an Air Ambulances System in

Japan", *CESUN Conference*, 3, (2021). [Online]. Available: <https://docs.lib.purdue.edu/cesun/cesun2020/papers/3>

[13] EASA, "Prototype Technical Specifications for the desing of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category", *EASA*, (2022). [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/136259/en>

[14] Mukherjee, B., S. Brentner, K., Geenwood, E., Theron, J-P., F. Horn, J., "An Investigation of Piloting and Flight Control Strategies on Generic eVTOL Noise", *Research Gate*, (2022). [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/360689032>

[15] Muñoz, R., "Los 10 años del AVE Madrid-Barcelona en cifras y curiosidades.", *El Paí-s*, (2018, 20 febrero). [Online]. Available: [https://elpais.com/economia/2018/02/19/actualidad/1519041070\\_591214.html](https://elpais.com/economia/2018/02/19/actualidad/1519041070_591214.html)

[16] Casas, S., "¿Cuánta gente utiliza el puente aéreo entre Madrid y Barcelona?", *Metropoli Abierta*, (2021, 9 noviembre). [Online]. Available: [https://www.metropoliabierta.com/economia/puente-aereo\\_23109\\_102.html](https://www.metropoliabierta.com/economia/puente-aereo_23109_102.html)

[17] Exposición Mundial de Meteorología 2022, *meteoblue*, (2022, 23 octubre). [Online]. Available: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/barcelona\\_espa%C3%B1a\\_3128760](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/barcelona_espa%C3%B1a_3128760)

[18] Exposición Mundial de Meteorología 2022, *meteoblue*, (2022b, octubre 23). [Online]. Available: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/madrid\\_espa%C3%B1a\\_3117735](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/madrid_espa%C3%B1a_3117735)

[19] Exposición Mundial de Meteorología 2022, *meteoblue*, (2022, 23 octubre). [Online]. Available: [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/zaragoza\\_espa%c3%b1a\\_3104324](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/zaragoza_espa%c3%b1a_3104324)

[20] eVTOL | Kelekona | United States. (2022). *Kelekona*. [Online]. Available: <https://www.kelekona.com/>

[21] García, G., "Así es el avión eléctrico eVTOL de Kelekona: una "batería voladora" con forma de ala.", *Híbridos y Eléctricos*, (2022, 17 abril). [Online]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/avion-electrico-kekona-evtol-bateria-voladora-forma-ala/20220330194058056234.html>

[22] OACI, "Anexo 14, Aerodromos, Volumenn II, Helipuertos", (2013). [Online]. Available: [www.icao.int](http://www.icao.int)

[23] Garrett-Glaser, B., "Joby Aviation raises \$1.6 billion in SPAC merger at \$6.6 billion valuation.", *Vertical Mag.*, (2021, 24 febrero). [Online]. Available: <https://verticalmag.com/features/joby-aviation-evtol-spac-merger-reinvent-technology/>