



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBAJO FINAL DE GRADO

Título: Estudio de viabilidad para la creación de la empresa AirStation responsable de dar servicio a las operadoras de Unmanned Air Taxis.

Autor: Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

Autor: José Franco Romero

Director: Héctor Fornés Martínez

Fecha: 15 de septiembre de 2022

Título: Estudio de viabilidad para la creación de la empresa AirStation. responsable de dar servicio a las operadoras de Unmanned Air Taxis.

Autor: Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

Autor: José Franco Romero

Director: Héctor Fornés Martínez

Fecha: 15 de septiembre de 2022

Resumen

El presente proyecto nace de la necesidad de acercar a la población un nuevo modo de transporte. Los eVTOL llegarán a las ciudades para combatir problemas como la congestión del tráfico y las emisiones de gases de efecto invernadero.

En los próximos 3-5 años los habitantes serán capaces de transportarse entre núcleos urbanos, al aeropuerto o incluso a regiones colindantes de una manera más efectiva, rápida y directa.

La tecnología se lleva estudiando desde hace más de una década y ya se empiezan a obtener los primeros resultados exitosos, ahora bien, para asegurar el triunfo de la Movilidad Aérea Urbana (UAM) es necesario dotar a las ciudades de la infraestructura necesaria, llamada vertipuerto, para que las aeronaves puedan aterrizar y despegar de zonas rodeadas de edificios de una manera segura.

Este proyecto tiene como objetivo estudiar la viabilidad de una empresa que daría servicio a las compañías operadoras de los taxis aéreos, para ello se han identificado las barreras y desafíos con los que cuenta el sector, no solo de carácter tecnológico sino también social. Se ha buscado una localización ideal entre unas cuantas ciudades europeas candidatas y se ha procedido al diseño del vertipuerto siguiendo el manual de diseño recientemente publicado por EASA.

Finalmente se demuestra la viabilidad del proyecto mediante el desarrollo de un estudio financiero.

Título: Estudio de viabilidad para la creación de la empresa AirStation responsable de dar servicio a las operadoras de Unmanned Air Taxis.

Autor: Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

Autor: José Franco Romero

Director: Héctor Fornés Martínez

Fecha: 13 de septiembre de 2022

Overview

This project arises from the need to bring a new mode of transportation to the population. Drones will arrive to cities to tackle problems such as traffic congestion and greenhouse gas emissions.

In the next 3-5 years, people will be able to travel between cities, to the airport or even to neighboring regions in a more effective, faster and more direct way.

The technology has been studied for more than a decade and the first successful results are already beginning to be obtained. However, to ensure the success of Urban Air Mobility (UAM) it is necessary to provide cities with the necessary infrastructure, called vertiport, so that aircraft can land and take off from areas surrounded by buildings in a safe way.

This project aims to study the feasibility of a company that would provide service to the companies operating air taxis, for this purpose the barriers and challenges that the sector faces have been identified, not only technological but also social. An ideal location has been sought among a few European candidate cities and the design of the vertiport has been carried out following the design manual recently published by EASA.

Finally, the feasibility of the project is demonstrated through the development of a financial study.

ÍNDICE

ACRÓNIMOS	8
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. CONTEXTO	2
1.1 PRESENTE Y FUTURO DE UAM.....	2
1.1.1 Una nueva forma de movilidad urbana.....	2
1.1.2 Barreras sociales.....	4
CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE AERONAVES	11
2.1 EVTOLS CANDIDATOS.....	11
2.1.1 Joby Aviation.....	12
2.1.2 Volocopter.....	13
2.1.3 Eve Holding.....	14
2.1.4 Lilium Jet.....	15
2.2 AERONAVE SELECCIONADA PARA EL ESTUDIO.....	17
CAPÍTULO 3. LEGISLACIÓN	18
CAPÍTULO 4. ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO	19
4.1 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE ACEPTACIÓN SOCIAL.....	19
4.2 ELECCIÓN FINAL DEL EMPLAZAMIENTO.....	24
4.3 ESTUDIO METEOROLÓGICO.....	27
CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LA ESTACIÓN	31
5.1 ESTUDIO DE DEMANDA.....	31
5.2 DEFINICIÓN DE ÁREAS, SISTEMAS DE ILUMINACIÓN Y MARCAS.....	32
5.2.1 FATO.....	33
5.2.2 Áreas de seguridad.....	34
5.2.3 Protección contra el downwash (revisar).....	34
5.2.4 Protección de talud lateral.....	34
5.2.5 TLOF.....	34
5.2.6 Calles de rodaje.....	35
5.2.7 Calles aéreas en tierra.....	35
5.2.8 Puntos de estacionamiento.....	35
5.2.9 Superficies limitadoras de obstáculos (OLS).....	36
5.2.10 Ayudas visuales.....	38
5.2.11 Indicador de la dirección del viento.....	38
5.2.12 Marca de identificación del vertipuerto.....	39
5.2.13 Marca de identificación FATO.....	39
5.2.14 Marca de masa máxima permitida.....	39
5.2.15 Marca de D.....	39
5.2.16 Marca perimetral de FATO.....	40
5.2.17 Marca de orientación.....	40
5.2.18 Marca perimetral de TLOF.....	40
5.2.19 Marca de posicionamiento en toma de contacto.....	40
5.2.20 Marca de calle de rodaje.....	40
5.2.21 Marca de puesto de estacionamiento.....	41
5.2.22 Marca de seguridad de plataforma.....	41
5.2.23 Marca de la guía de alineación de la trayectoria de vuelo.....	41
5.2.24 Luces.....	41
5.2.25 Baliza del vertipuerto.....	42
5.2.26 Sistema de luces de la guía de alineación de la trayectoria de vuelo.....	42
5.2.27 Sistema de alineación de guiado visual.....	42
5.2.28 Indicador visual de la pendiente de la aproximación.....	43
5.2.29 Sistemas de iluminación de FATO.....	43

5.2.30	Sistemas de iluminación de TLOF	44
5.2.31	Iluminación del indicador del vertipuerto	44
5.2.32	Focos de iluminación de los puestos de estacionamiento	44
5.3	REPRESENTACIÓN EN SOLIDWORKS	45
CAPÍTULO 6. ESTUDIO FINANCIERO.....		49
CONCLUSIONES.....		54
BIBLIOGRAFÍA.....		55

Agradecimientos

A mi madre por el apoyo y la motivación durante todos estos años.

Acrónimos

UAM	Urban Air Mobility
eVTOL	electric vertical take off and landing vehicle
VFR	Visual Flight Rules
EPD	Elasticidad precio de la demanda
AAM	Advanced Air Mobility
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VTC	Vehículo de transporte con conductor
DEP	Distributed electric propulsion
MTOW	Maximum takeoff weight
MTOM	Maximum takeoff mass
UAS	Unmanned Aerial System
EASA	European Aviation Safety Agency
ATM	Air Traffic Management
KPI	Key performance indicator
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
FATO	Final Approach and take-off area
UCW	Undercarriage weight
TLOF	Touchdown and lift off area
OLS	Obstacle limitation surface
TDPM	Touchdown positioning marking
HAPI	Helicopter approach path indicator
AFM	Aircraft flight manual

INTRODUCCIÓN

Desde el principio de la carrera se nos presentó el tema de la movilidad aérea urbana (UAM), este concepto despertaba gran entusiasmo en algunos estudiantes como es mi caso. Poder integrar en las ciudades una forma de moverse por el aire es el sueño de muchos, siendo hasta ahora el helicóptero un medio casi inaccesible para toda la población principalmente por el alto precio.

UAM revoluciona la movilidad aérea destruyendo las barreras actuales. Se convierte así en una alternativa sostenible que presenta solución al problema de la congestión del tráfico en grandes ciudades. El camino es largo y presenta retos y desafíos complicados, un factor esencial será ganarse la confianza de la gente.

Es por eso que la conexión entre las aeronaves y los ciudadanos está en el vertipuerto. La implementación de estos puntos dentro de las ciudades no es un proceso arbitrario, requiere de un gran trabajo para poder cumplir tanto unos requerimientos técnicos como las exigencias de la población. Hay que eliminar la idea de que todo vehículo aéreo que vuele alrededor de nosotros es una amenaza a nuestra seguridad y a nuestros oídos.

Para ello el siguiente trabajo ha tratado de encontrar un emplazamiento viable para introducir el concepto de movilidad aérea urbana en la sociedad. Se han analizado varios estudios de grandes consultoras que presentan los desafíos actuales con los que cuenta el sector y se ha seleccionado la ciudad de Barcelona como la candidata para un primer prototipo. Poder ser los primeros en ofrecer los servicios a nivel europeo y prácticamente mundial hace que la ciudad se sitúe como una pionera e intensifique su gran atractivo.

El trabajo se conforma por diferentes capítulos, primeramente, se introduce el concepto de UAM y se da una visión general del mercado. A continuación, y con la ayuda del estudio de aceptación social realizado por la consultora Booz Allen Hamilton se presentan los desafíos sociales con los que cuenta el sector lo cual sirve para conocer las inquietudes de la sociedad.

Seguidamente se presentan las aeronaves eVTOL más avanzadas, en base a estas se diseñará más adelante la estación.

El siguiente capítulo aborda la legislación actual, se trata de explicar cómo está sectorizado y regulado el espacio aéreo.

El capítulo con más extensión y en el que se incide más es en el del propio diseño del vertipuerto, se trata de cumplir en todo momento con los requerimientos de la población, así como con el manual de diseño de EASA. Se lleva a cabo un estudio meteorológico y uno de demanda para adaptarlo correctamente a sus necesidades. La parte clave es el cumplimiento de las directrices en términos de seguridad para poder integrarlo correctamente dentro del núcleo urbano.

Para acabar se realiza un estudio financiero que avala la viabilidad del proyecto también en términos económicos.

CAPÍTULO 1. CONTEXTO

1.1 Presente y futuro de UAM

1.1.1 Una nueva forma de movilidad urbana

Ya queda menos para que un nuevo medio de transporte revolucione la forma de conectarnos. A inicios de la década pasada la comunidad aeronáutica empezó a oír hablar del concepto Urban Air Mobility (UAM), el cual nace de la necesidad principal de combatir el tráfico en las ciudades además de ofrecer una forma más sostenible, totalmente eléctrica, mucho más generosa con el medio ambiente a diferencia de los tradicionales coches de combustión.

Sólo el mercado de Airport Shuttle y Air Taxi en los Estados Unidos alcanzaría un tamaño de 500\$ billones según un estudio de mercado encargado por la NASA a la consultora Booz Allen Hamilton en 2018 [1], si no contara con todas las restricciones actuales las cuales lo dejarían en un 0,5% hoy en día.

El caso totalmente restringido tiene en cuenta la disposición a pagar de la gente, las limitaciones en cuanto a capacidad de la infraestructura e infraestructura existente, la restricción temporal (se estudió el caso en el que las operaciones se daban entre las 7am- 6pm ya que esa franja horaria cubre el 80% de la demanda y evita el impacto causado por la contaminación acústica) y las restricciones marcadas por el tiempo haciendo que las operaciones se lleven a cabo bajo normas de vuelo visual en un principio VFR.

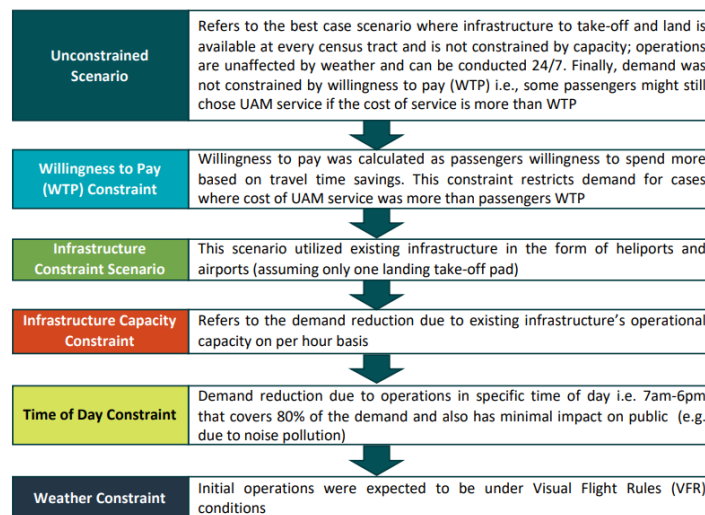


Fig. 1.1 Aplicación de las restricciones

En la siguiente tabla se muestra la reducción en demanda anual en función de las restricciones aplicadas en las diferentes ciudades estudiadas. También se

adjunta la gráfica que muestra la diferencia en el volumen de mercado en función de las restricciones aplicadas.

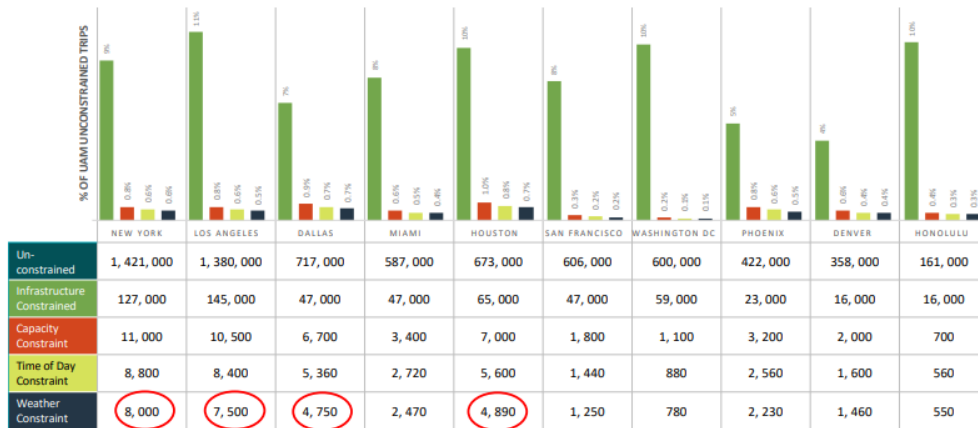


Fig. 1.2 Distribución de la demanda en los diferentes escenarios

También es muy importante tener una idea clara de cómo variaría el precio de los servicios, para ello se analiza la elasticidad del precio en función de la demanda. En la siguiente tabla se ven las curvas de la elasticidad precio de la demanda para las diferentes ciudades estudiadas. En todas ellas el valor absoluto de EPD es mayor que uno lo que indica que una variación del precio en este caso negativa implica una mayor variación de la demanda siendo esta positiva. Cambios en el precio del servicio (reducción) incitan a más gente a consumirlo.

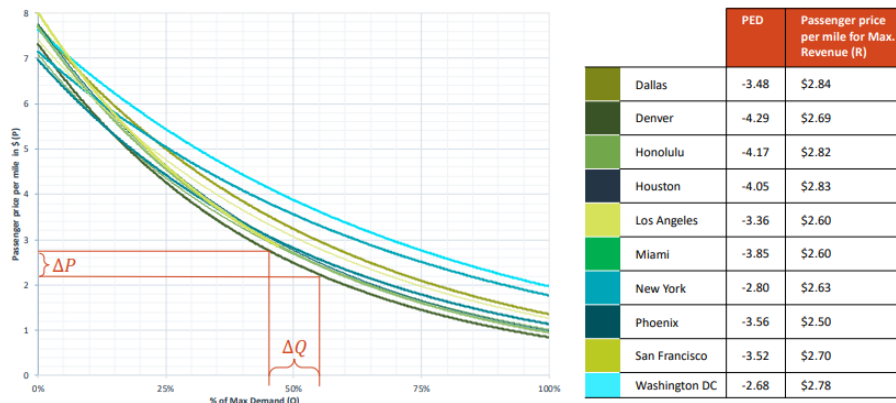


Fig. 1.3 Curvas de elasticidad precio de la demanda

A diferencia de su predecesor, el helicóptero, el eVTOL realiza su trabajo emitiendo menos ruido, es 100% eléctrico y el ahorro es significativo. Aunque las aeronaves siguen contando con algunas barreras como pueden ser el desarrollo de las baterías o el coste de implementación.

Si bien es cierto que se prevé que el precio de las baterías de ion-litio baje a 100\$/ kWh en 2025 con un descenso de 10\$/kWh por año, siendo en 2010 de 1000\$/kWh. Así mismo, los avances en tecnología permitirán reducción en los costes de producción alrededor del 15% al duplicar la producción. El informe de la Nasa indica que se duplica la producción cada 5 años. Otro factor importante que propicia e impulsa el desarrollo de UAM es el incremento de la densidad energética de las celdas de los 150 Wh/kg en 2010 a 300 Wh/ kg en 2020.

En cuanto a la eficiencia, se mencionan distintos aspectos. La eficiencia en los viajes se quiere minimizar al máximo los “viajes muertos”, viajes en los cuales el eVTOL tiene que volver a su punto de destino sin transportar a nadie. La utilización de las aeronaves tiene que maximizarse, gracias a los supercargadores se reducirá el tiempo de carga.

El factor de carga es otro aspecto importante, tanto para el consumidor como para el operador, se busca cargar los eVTOLs al máximo de su capacidad.

1.1.2 Barreras sociales

Este trabajo nace de la necesidad de proporcionar una infraestructura, ahora inexistente, para este tipo de aeronaves en las ciudades, gracias a la publicación de un prototipo de manual para el diseño de vertipuertos por parte de EASA será posible alcanzar mi objetivo.

Si bien es cierto, hoy en día la normativa recoge que estas aeronaves deberán estar previstas de un piloto a los mandos, el cual tendrá que seguir las normas de vuelo VFR, en un futuro se evolucionará hacia eVTOLs totalmente autónomos.

En este trabajo me centro en el propio diseño y la puesta en funcionamiento de un vertipuerto. La idea sería trabajar mano a mano con los operadores. No cubriré su trabajo ya que para ello se necesitaría seguir las directrices que publicarán más adelante. En la siguiente fase se definirán los requerimientos regulatorios para los operadores. Según EASA los requerimientos no sólo cubrirán las especificaciones detalladas de diseño sino también los requisitos para que las autoridades supervisen las operaciones de los vertipuertos, así como los requisitos organizativos y operativos.

El sector de la Advanced Air Mobility (AAM) prevé un crecimiento anual del 9% hasta alcanzar un trillón de dólares estadounidenses (un millón de millones) durante las próximas dos décadas.

El análisis de la Nasa incide en que uno de los principales problemas que se tendrá que afrontar es la falta de infraestructura disponible.

Los resultados también demuestran que los viajes más exitosos dentro de UAM serán los de largo recorrido. Los viajes dentro de la ciudad, para ir a trabajar, por ejemplo, no motivarán lo suficiente a los consumidores para coger un eVTOL para desplazarse tal y como sí lo serían los vuelos recreacionales o para llegar al aeropuerto.

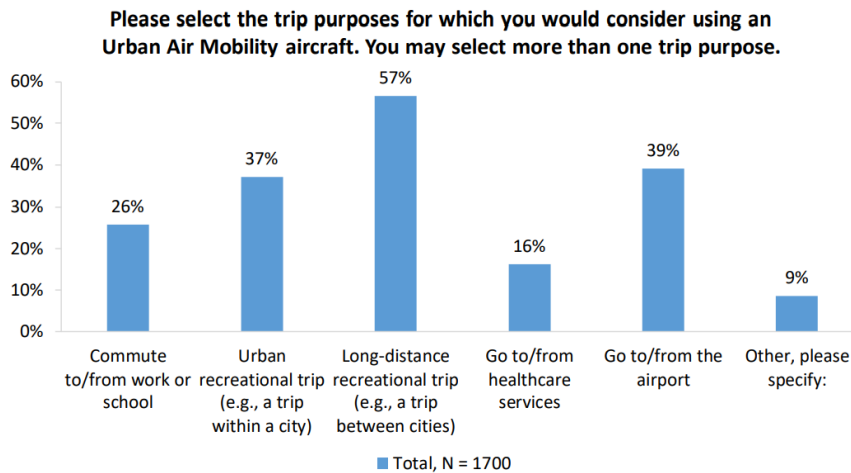


Fig. 1.4 Propósito del desplazamiento mediante eVTOL

La siguiente imagen consiste en el esquema de movilidad con vehículo frente a movilidad con eVTOL. Como se puede observar el tiempo ahorrado dependerá principalmente entre el tiempo empleado entre los dos vertipuertos. A mayor distancia entre el origen y el destino, mayor tiempo se podrá recortar utilizando UAM ya que la velocidad de los eVTOL es mucho mayor que la de un coche convencional, y los eVTOL siguen el camino óptimo y corto.

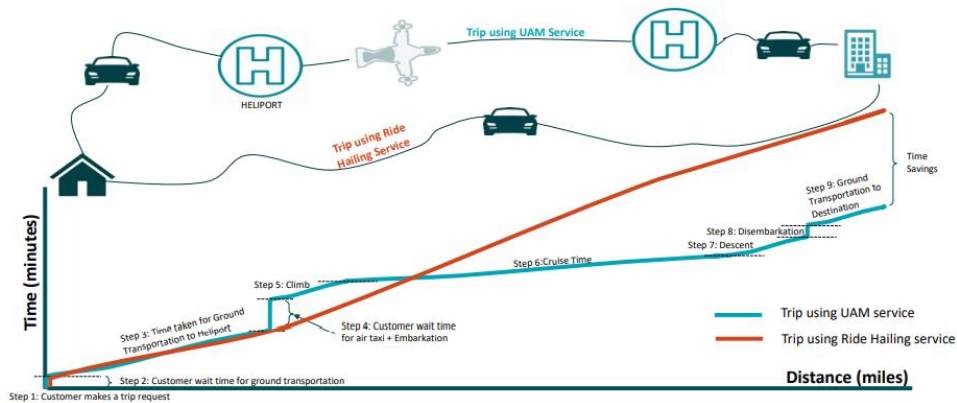


Fig. 1.5 Tiempo empleado en el desplazamiento (coche vs. eVTOL)

En 2018 la consultora Booz Allen Hamilton realizó un estudio en cinco ciudades de Estados Unidos para conocer la opinión de la población frente a UAM, se les preguntó sobre su familiaridad con las UAM; sus opiniones e impresiones sobre las UAM; opiniones sobre la propiedad, la automatización y la seguridad, también se les preguntó por su voluntad para volar, el ruido generado por las aeronaves.

En este trabajo se analizarán los resultados y conclusiones obtenidas en el estudio, de ahí se podrán extrapolar para las ciudades candidatas.

Para que la industria salga adelante es necesario ganar la confianza del público, para ello hay que conseguir que la gente se sienta segura y confiada en utilizar este nuevo método de transporte. La confianza es algo muy frágil, se puede perder muy fácilmente ante una experiencia desfavorable.[2]

La forma en la que se presenta la información a los consumidores es clave, según un estudio realizado por Anania [3] se les presentó información con carácter negativo a un grupo sobre la conducción autónoma en coches, después de ello los participantes estaban menos dispuestos a viajar en esos vehículos, sin embargo, después al grupo se le introdujo la información de forma positiva y el resultado cambió, estando dispuestos a probar la nueva conducción. Carlson et al [4] analizó la influencia de las marcas en la confianza de la gente y resultó que los participantes se vieron más afines a utilizar la tecnología desarrollada por grandes empresas que la de las empresas pequeñas. Debido a esto, cuando se estudien las aeronaves candidatas se analizarán las empresas más potentes y que han invertido más en desarrollar la tecnología del sector.

En un estudio sobre la percepción de riesgo en el transporte de pasajeros y cargo por UAV realizado por Tam [5] encontró que había mayor percepción de seguridad si se encontraba un piloto a bordo.

Si bien es cierto que es difícil adimensionalizar los números que se encuentran detrás de las estadísticas, la gente se sorprendería si conociese la realidad de los datos. Según el estudio realizado por la consultora McKinsey, si este transporte de pasajeros alcanzará el mismo nivel de seguridad que el de la aviación comercial en Europa en 2018 (0.01 víctimas mortales por cada mil millones de pasajeros-kilómetro) sería del orden de mil quinientas veces más seguro por pasajero-kilómetro viajar de esta manera en vez de viajar en coche. La siguiente figura muestra algunos de los otros beneficios más destacables del informe.

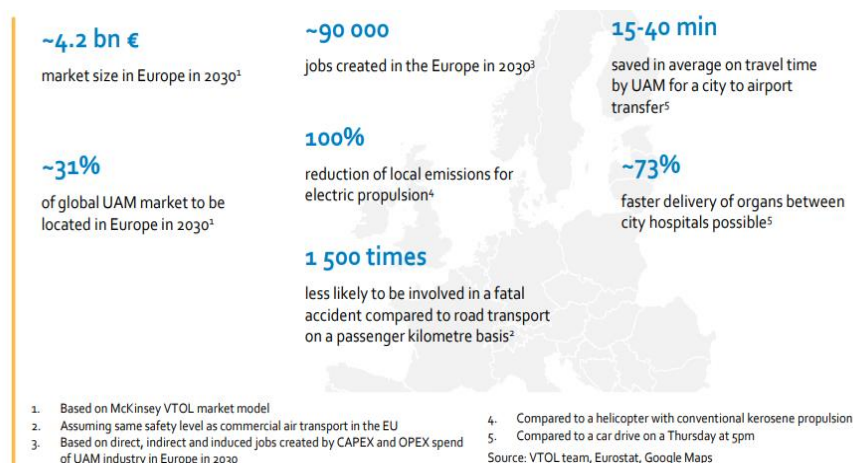


Fig. 1.6 Beneficios UAM en Europa

Las cinco ciudades en las que se realizó el estudio fueron Huston, Los Angeles, la ciudad de Nueva York, San Francisco Bay Area y Washington, D.C., cada una

con sus propias características geográficas, climatológicas, demográficas, sociales, algunas contando ya con servicios de movilidad urbana aérea. A la población se le preguntaba si prefieren los vehículos pilotados, pilotados remotamente o automatizados, si la presencia de otros usuarios o de tripulación de vuelo impactaría su disposición a usar el servicio y por último si prefieren ser los dueños de la aeronave o si estarían dispuestos a contratar el servicio. También se analizaba el punto de vista del no-usuario, la persona de la calle, para ver cómo le afectaría el ruido u otros factores.

Solamente un 23% de los encuestados conocía el concepto de UAM, por lo que es crucial hacer conocida a la población como se ha mencionado anteriormente. Tras un breve video de presentación la gente mostró sentimientos neutros-positivos. El 36% de los hombres se mostraron excitados frente al (27%) de las mujeres. No se observaron variaciones significativas por ciudades.

Por otra parte, en el estudio realizado por McKinsey, el cual será comentado en profundidad más adelante, se vio que la gran mayoría de la gente tenía una actitud positiva frente a UAM, cuando se les explicaba bien el concepto. Esto es un pilar muy importante para que esta nueva red de servicios pueda tener éxito entre la población

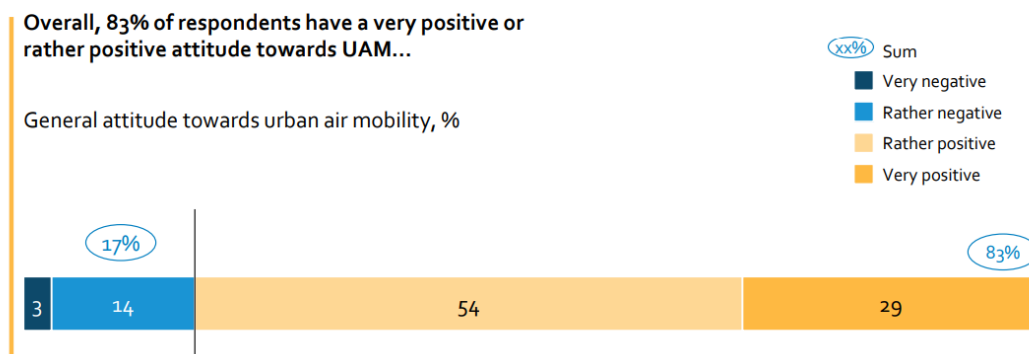


Fig. 1.6 Actitud frente a UAM

Entre los factores que más influyen a los encuestados a la hora de reservar vuelos de avión están el precio del billete, el tiempo total, la puntualidad de la aeronave al despegar y al aterrizar y la seguridad. En cuanto a la influencia relacionada con la experiencia de volar y volar más frecuentemente el factor más notable es la accesibilidad al aeropuerto. Todos estos puntos son combatidos por UAM.

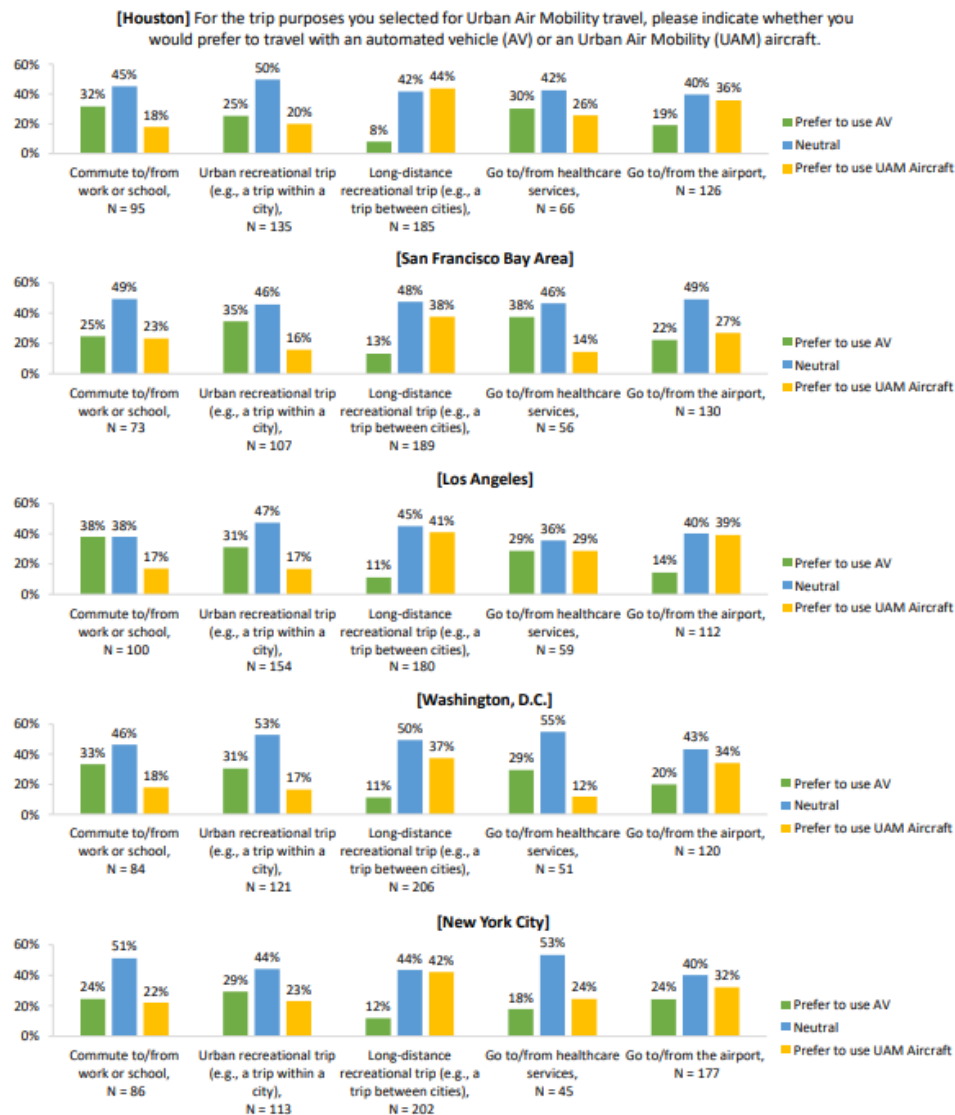


Fig. 1.8 viaje AV vs. UAM

Como se puede observar en la Figura 1.8 los encuestados se decantan por el traslado en una aeronave UAM en los casos de larga distancia para viajes recreacionales (ej. viajes entre ciudades) y de casa al aeropuerto y viceversa. En cuanto al tema que más concierne a este trabajo es todo lo que engloba los vertipuertos. En el estudio se hace referencia a estos. La gran mayoría de la gente encuestada estaría dispuesta a usar un vertipuerto. Se les preguntó sobre cuál sería el tiempo máximo que estarían dispuestos a tomar para llegar y cuánto pagarían para llegar a dicho vertipuerto.

Como se puede observar en las siguientes gráficas la gran mayoría de la gente se desplazaría al vertipuerto si tomara un máximo de entre 21 y 30 minutos. Este es un dato muy importante ya que a la hora de buscar un emplazamiento en la ciudad habrá que tener en cuenta esto. En cuanto al coste que les supondría para llegar al vertipuerto, no es del todo orientativo ya que la diferencia de salarios en Estados Unidos y Europa es muy grande y los precios del taxi / transporte público no son iguales.

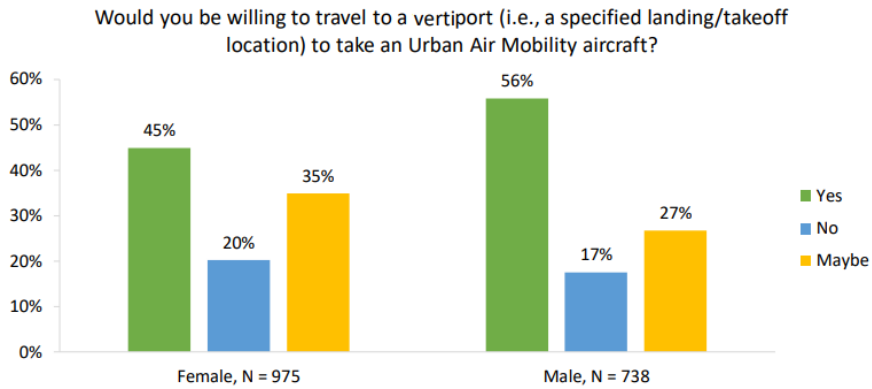


Fig.1.9 Voluntad para desplazarse a un Vertipuerto

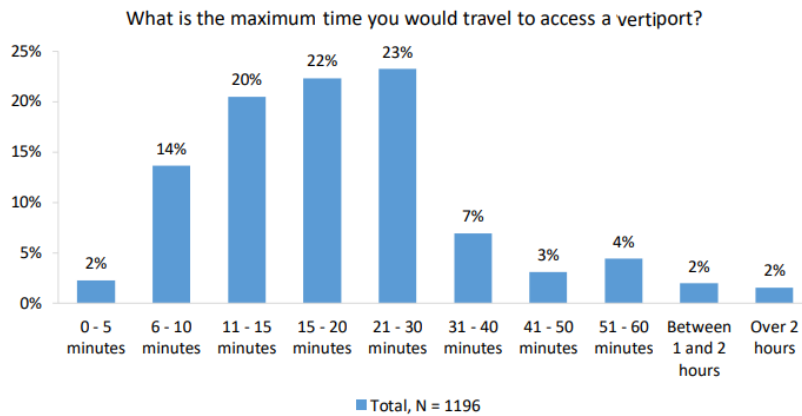


Fig.1.10 Tiempo empleado para acceder al vertipuerto

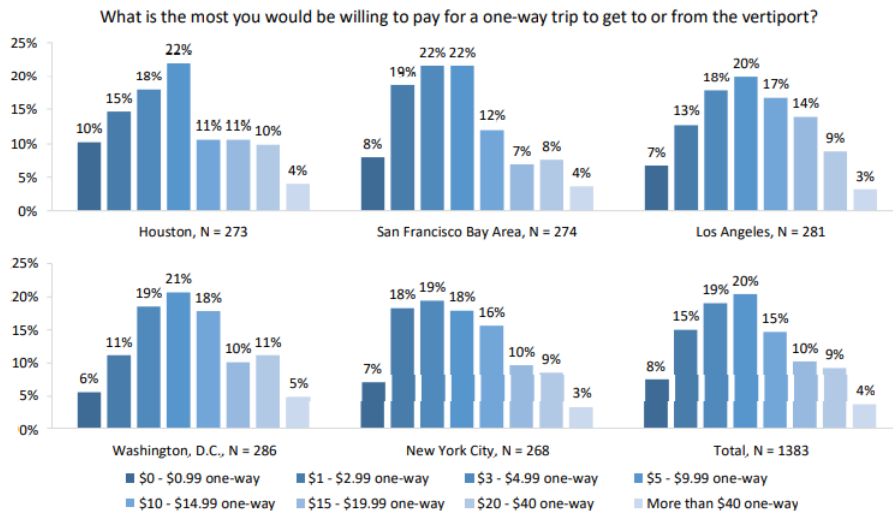


Fig.1.11 Cuanto estarían dispuestos a pagar para acceder al vertipuerto

En la siguiente gráfica se muestran los diferentes modos de acceso al vertipuerto preferidos por los encuestados. Los tres más destacados son mediante su propio vehículo, por lo es fundamental que haya un parking que albergue todos esos coches / motocicletas, mediante transporte público por lo que el vertipuerto sería altamente recomendable que estuviese anexo a alguna estación para facilitar el acceso a los consumidores, y por último los VTC / taxi (no tan populares últimamente en Estados Unidos por lo que sale tan abajo en la tabla).

	Total, N = 1380	San Francisco			Washington,	
		Houston, N = 273	Bay Area, N = 274	Los Angeles, N = 278	D.C., N = 287	New York City, N = 267
Driving	39%	58%	32%	46%	42%	15%
Public Transit	25%	12%	28%	17%	28%	42%
Ridesourcing	16%	16%	18%	20%	11%	15%
Taxi	3%	1%	4%	1%	2%	9%
Bicycle	1%	0%	1%	0%	0%	1%
Bike Sharing	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Car Sharing	1%	1%	0%	0%	1%	1%
Automated Vehicle	4%	5%	3%	7%	5%	3%
Shared Automated Vehicle	1%	1%	1%	1%	0%	1%
Walk/Run	7%	3%	10%	5%	6%	10%
Other	3%	2%	3%	4%	5%	3%

Fig.1.12 Modo de acceso al Vertipuerto preferido

También se le preguntó a los encuestados que tomaran la postura de un no consumidor, una persona de la calle o vecino que pueda presenciar uno de estos eVTOL volando. Las respuestas demuestran que la gente se siente más segura si la aeronave cuenta con tripulación. La gente se sentía preocupada por el ruido que pudieran generar las aeronaves, lo cual tendría consecuencias negativas para ganarse la confianza de la población. Es de vital importancia encontrar un buen emplazamiento, durante el despegue y aterrizaje es cuando se percibe mayor ruido de la aeronave, hay que tener en cuenta que gran parte de las operaciones se llevan a cabo en zonas controladas o zonas catalogadas como de bajo ruido. El malestar se agravaría si fuera en horario nocturno. Hay que tener en cuenta que en un principio se prevé que la actividad sea en horario diurno, es cuando se tienen las mejores condiciones de vuelo VFR, también la actividad aeroportuaria mayoritariamente se concentra durante el día.

CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE AERONAVES

2.1 eVTOLs candidatos

Muchas son las empresas que están desarrollando aeronaves que puedan surcar los cielos de las ciudades. En este capítulo se exponen algunas de ellas, las que están más avanzadas en sus fases de desarrollo y certificación. Se ha realizado un filtrado en función de sus especificaciones, únicamente se tratarán las que cumplan con los requisitos que se contemplan en este trabajo, por otra parte, vale la pena centrarse en las empresas más potentes del sector ya que como se ha visto anteriormente son las que transmiten más confianza y seguridad a la población. Finalmente, para poder diseñar el vertipuerto habrá que quedarse con las unidades más restrictivas en términos de dimensión y peso máximo al despegue.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño del vertipuerto que de servicio a aeronaves que cumplan unos requisitos concretos, es necesario que las aeronaves tengan la autonomía suficiente para poder hacer vuelos regionales, ya que como se ha visto en el estudio de la consultora Booz Allen Hamilton los clientes priorizan los destinos de media distancia a los vuelos interurbanos. Se busca también un tipo de aeronave con capacidad mayor a 4 pasajeros, esto minimiza los costes operativos.

Para la selección de las aeronaves se ha utilizado el índice de movilidad aérea avanzada publicado por AMM Reality Index [6].

AAM REALITY INDEX

OEM (stock ticker)	ARI	Funding (\$M)	Use Case	Vehicle Type	Propulsion	Operation	Vehicle	First Flight	EIS	Country	
Joby Aviation (NYSE: JOBY)	↔	8.7	\$1,844.6	Air Taxi	Vectored Thrust	Electric	Piloted	-	2018	2024	USA
Volocopter	↔	8.4	\$579.0	Air Taxi	Multicopter / Lift + Cruise	Electric	Piloted	VoloCity / VoloConnect	2021 / 2022	2024 / 2026	Germany
Beta Technologies	↔	8.0	\$796.0*	Cargo, Air Taxi	Lift + Cruise	Electric	Piloted	Alia S250c / S250	2020	2024	USA
Eve Holding (NYSE: EVEX)	↑	7.7	\$362.4	Air Taxi	Lift + Cruise	Electric	Piloted	Eve	2022	2026	Brazil
Lilium (NASDAQ: LILM)	↔	7.7	\$938.0	Regional, Cargo, Biz Av	Vectored Thrust	Electric	Piloted	Jet	-	2025	Germany
Wisk	↔	7.5	\$775.0	Air Taxi	Lift + Cruise	Electric	Autonomous	Cora	2018	-	USA
Archer (NYSE: ACHR)	↔	7.4	\$856.3	Air Taxi	Vectored Thrust	Electric	Piloted	Maker	2021	2025	USA
Ehang (NASDAQ: EH)	↔	7.4	\$132.0	Air Taxi, Tourism	Multicopter / Lift + Cruise	Electric	Autonomous	EH-216S / VT-30	2018 / 2021	2022 / -	China

Fig. 2.1 Índice de movilidad aérea avanzada

2.1.1 Joby Aviation

Aparece situada en lo más alto de la lista con la mayor puntuación. La empresa estadounidense lleva desarrollando durante más de 10 años una aeronave que tenga un rango de 150 millas (240 km), totalmente eléctrica, con una velocidad de crucero máxima de 200 mph (320 km/h). El modelo S4 cuenta con un tren de aterrizaje retráctil que permitiría el desplazamiento por tierra en la plataforma. Cuenta con un piloto y capacidad para 4 pasajeros. Según indica su página web [7] el eVTOL es tan silencioso como una conversación de calle y hasta 100 veces más silencioso que un helicóptero al despegar y aterrizar.

Las especificaciones de la versión 1.0 son las siguientes:

- Tipo de aeronave: aeronave de pasajeros eVTOL
- Piloto: 1 piloto
- Pasajeros: 4 pasajeros
- Velocidad máxima: 200 mph (322 km/h)
- Alcance: 150 millas (241,4 km)
- Hélices: 6 hélices inclinadas, 4 hélices inclinadas verticalmente incluyendo toda la góndola del motor, 2 hélices inclinadas verticalmente con un mecanismo de enlace
- Motores: 6 motores eléctricos de alto rendimiento
- Fuente de energía: Baterías de óxido de litio-níquel-cobalto-manganeso con un diseño vanguardista del paquete de baterías
- Envergadura: 35 pies (10,7 m)
- Longitud: 24 pies (7,3 m)
- Peso: 1.815 kg (4.000 lb)
- Ventanas: Grandes ventanillas para que los pasajeros disfruten de unas vistas espectaculares
- Fuselaje: Compuesto
- Tren de aterrizaje: Tren de aterrizaje retráctil con ruedas de triciclo
- Características de seguridad: Propulsión eléctrica distribuida (DEP), si uno de los dos motores deja de funcionar, la aeronave puede realizar un aterrizaje de emergencia y aterrizar con seguridad; redundancia de componentes críticos; puede aterrizar como un avión si es necesario; tiene batería de reserva si hay un retraso inesperado al aterrizar.



Fig. 2.2 eVTOL Joby Aviation

2.1.2 Volocopter

La empresa alemana es una de las líderes del mercado, ha presentado varios modelos, Volocity para moverse por la ciudad y Voloconnect para mayores distancias

Se analiza Voloconnect debido a que sus prestaciones se aproximan más a las necesidades de la gente.

Este modelo será tripulado y con capacidad para tres pasajeros, una velocidad de crucero estimada de 180km/h (110 mph) y un alcance de 100km (60 millas). La compañía ha anunciado que contará con el sistema de control de vuelo fly-by-wire de Volocopter, tendrá un pilotaje autónomo, dispondrá de múltiples sistemas redundantes y separados para mayor seguridad, y la aeronave tiene capacidad de intercambio de baterías.[8] Se incluye en el estudio de aeronaves para que en un futuro pueda utilizar la existente infraestructura, de momento no se permitirá el vuelo de eVTOLs no tripulados por un piloto.

Sus características son las siguientes:

- Tipo de aeronave: eVTOL
- Pilotaje: Autónomo
- Capacidad: 4 pasajeros
- Velocidad de crucero: 180 km/h (110 mph)
- Velocidad máxima: 250 km/h (155 mph)
- Alcance: 100 km (60 m)
- Tiempo de vuelo: Desconocido
- Hélices: 6 hélices VTOL, dos ventiladores canalizados para el vuelo delantero
- Motores eléctricos: 8 o más
- Fuente de energía: Baterías. Tiene capacidad de intercambio de baterías.
- Carga útil: 300-400 kg (660-880 lb)
- Fuselaje: Compuesto de fibra de carbono
- Ventanas: Grandes ventanillas para unas vistas espectaculares con un techo sólido sobre el habitáculo
- Alas: Un ala principal alta con dos booms con 6 hélices VTOL
- Cola: Cola en forma de V conectada a la parte trasera de los dos botalones
- Tren de aterrizaje: Tren de aterrizaje retráctil con ruedas triciclo
- Características de seguridad: La Propulsión Eléctrica Distribuida (DEP), proporciona seguridad a través de la redundancia para sus pasajeros y/o carga. DEP significa tener múltiples hélices y motores en la aeronave, de modo que, si uno o más motores o hélices fallan, los otros motores y hélices que funcionan pueden aterrizar con seguridad la aeronave. La aeronave también puede aterrizar como un avión si es necesario.



Fig. 2.3 eVTOL Volocopter Voloconnect

2.1.3 Eve Holding

La compañía brasileña creada en 2020 y subsidiaria de Embraer ha diseñado un modelo que en un futuro será también autotripulado. Sus características en cuanto a alcance son muy similares al anterior, hasta entonces contará con un piloto y sitio para cuatro pasajeros y su equipaje. Todavía no han dado a conocer la velocidad y tiempo de vuelo. Hacen hincapié en la reducción del ruido, la seguridad y su tecnología 100 % eléctrica. [9]

Sus características son las siguientes:

- Tipo de aeronave: eVTOL
- Pilotaje: 1 piloto (en el futuro, autónomo)
- Capacidad: 4 pasajeros y equipaje
- Velocidad de crucero: desconocida
- Alcance (estimado): 100 km (60 millas)
- Tiempo de vuelo: Desconocido
- Altitud de crucero: Desconocido
- Hélices: 10 hélices (8 hélices sólo VTOL, 2 hélices de empuje)
- Motores eléctricos: 10 motores eléctricos
- Fuente de energía: Baterías
- Fuselaje: Compuesto de fibra de carbono
- Ventanas: Grandes ventanas que permiten vistas hacia adelante, izquierda y derecha, con un techo sólido sobre el habitáculo
- Ventana: Toldo sobre la cabina de mando
- Alas: 1 ala alta principal
- Cola: 1 cola convencional
- Tren de aterrizaje: Dos trenes de aterrizaje fijos tipo helicóptero
- Características de seguridad: La Propulsión Eléctrica Distribuida (DEP), proporciona seguridad a través de la redundancia para sus pasajeros y/o carga. DEP significa tener múltiples hélices (o ventiladores en conducto) y motores en la aeronave, de modo que si una o más hélices (ventiladores en conducto) o motores fallan, las otras hélices (o ventiladores en conducto) o motores fallan, las otras hélices (o ventiladores en

conducto) y motores que funcionan pueden aterrizar con seguridad la aeronave. También hay redundancias en los subsistemas de la aeronave.



Fig. 2.4 eVTOL Eve Holding

2.1.4 Lilium Jet

A diferencia de los modelos multicopter, el eVTOL de Lilium es de tipo ala-fija reduce drásticamente la energía necesaria para mantener la aeronave en el aire ya que su principio se basa en la sustentación generada por las alas, utilizando solo un 10% de su máxima potencia (2000 hp) cuando alcanza el vuelo en crucero.[10]. El diseño destaca por su simplicidad lo que reduce el mantenimiento.

Sus características son las siguientes:

- Aeronave: Lilium Jet eVTOL Jet 5 plazas
- Pilotaje: El avión será inicialmente pilotado y en el futuro será autónomo
- Capacidad: 5 pasajeros
- Velocidad de crucero: 300 km/h
- Alcance: 300 km (186 millas estatutarias)
- Tiempo máximo de vuelo: 60 minutos
- Propulsión: 36 ventiladores eléctricos y 36 motores eléctricos. Los ventiladores eléctricos están situados en pares de tres en las alas para un total de doce unidades de ventiladores o flaps. Hay dos flaps en cada ala delantera y cuatro flaps en cada ala trasera. Cada uno de los flaps puede inclinarse de forma independiente y funcionar a diferentes velocidades entre sí, en función de las condiciones del viento durante el vuelo vertical, la transición entre el vuelo vertical y el delantero, y durante el vuelo delantero, lo que proporciona un vuelo extremadamente estable y seguro.
- Tipo de tecnología de ventilación por conductos: Oficialmente, la compañía no comenta ninguna tecnología que estén utilizando
- Alimentación: Baterías

- Tipo de batería: Oficialmente, la empresa no comenta ninguna tecnología que esté utilizando
- Configuración de las alas: Alas canard
- Interior: El interior es espacioso y estará hecho para maximizar la experiencia del pasajero. Lilium ha informado de que los asientos cambiarán su forma para adaptarse a la persona, la capota puede convertirse en una pantalla para hacer el vuelo más agradable y los pasajeros utilizarán una aplicación para programar un vuelo.
- Ventanas: Excelente vista arriba, a la izquierda, a la derecha y hacia adelante gracias a la ventana en forma de cúpula
- Puertas: Ala de gaviota
- Tren de aterrizaje: Tren de aterrizaje retráctil en forma de triciclo con ruedas
- Estructura de la aeronave: Compuesto
- Ruido: De 6 a 7 veces más silencioso que un helicóptero en el despegue
- Certificación de la aeronave: Ala fija
- Nombre del vertiport: Lili pad
- Características de seguridad: La Propulsión Eléctrica Distribuida (DEP), proporciona seguridad a través de la redundancia para sus pasajeros y/o carga. DEP significa tener múltiples hélices y motores en la aeronave, de modo que, si uno o más motores o hélices fallan, los otros motores y hélices que funcionan pueden aterrizar la aeronave con seguridad. Ultra-redundancia con 36 ventiladores eléctricos canalizados, 36 motores eléctricos y un ordenador de control de vuelo triplemente redundante. Un ventilador pequeño puede responder mucho más rápidamente que un ventilador grande y, por lo tanto, la aeronave puede responder mucho más rápidamente a cualquier entrada de control. La aeronave también dispone de un paracaídas completo. La aeronave también puede aterrizar como un avión, ya que tiene alas y tren de aterrizaje con ruedas.
- Envergadura: 13.9m
- Máximo peso al despegue: 3175 kg



Fig. 2.5 eVTOL Lilium Jet

2.2 Aeronave seleccionada para el estudio

Hay más eVTOL en el mercado en avanzadas fases de certificación, es el caso de los de las compañías Wisk, Ehang, Beta Technologies o Kitty Hawk entre otras, el inconveniente de estas es que sus aeronaves únicamente cuentan con sitio para 2 pasajeros, eso como hemos visto anteriormente tiene un efecto negativo en los costes operativos además no se adecúa a las necesidades del vertipuerto que se quiere diseñar.

Para poder proceder al diseño del vertipuerto es necesario definir los parámetros de diseño. Este vertipuerto pretende ser operable por las diferentes compañías por lo que tiene que estar diseñado de tal manera que las aeronaves con diseños más restrictivos no tengan ningún problema en sus operaciones. Así que será necesario basarnos en dos parámetros principales:

- Máximo peso al despegue (MTOW)
- Diámetro mínimo del círculo que envuelve a la aeronave

El eVTOL con los parámetros más restrictivos es el jet de Lilium teniendo un peso máximo al despegue de 3175 kg y una envergadura de 13.9m siendo de esas dimensiones el diámetro del círculo.

CAPÍTULO 3. LEGISLACIÓN

Hoy en día no existe una legislación que rijan propiamente a las UAS. Si bien es cierto que en 2018 EASA [11] propuso unas normas para las aeronaves, el objetivo era crear un marco regulatorio que definiese las medidas para mitigar los riesgos en las operaciones de las categorías “open” y “specific”.

Sin embargo, estas categorías hacen referencia a los pequeños drones dirigidos remotamente.

Las regulaciones propuestas darían flexibilidad a los estados miembros para crear zonas dentro de sus territorios donde el uso de UAS estuviese prohibido o limitado. Se espera que con el desarrollo de este marco regulatorio se incrementen los niveles de seguridad en las operaciones, se armonice la legislación entre los estados miembros y cree un mercado europeo que reduzca el coste y permita las operaciones entre países.

Por otro lado, EASA sí que hace referencia a una posible regulación de los VTOLs [12] pero afectaría únicamente a aeronaves de categoría pequeña capaces de transportar a 5 pasajeros y con una masa máxima de 2000 kg por lo que muchos modelos se quedarían fuera.

Lo que está claro es que tarde o temprano EASA o la autoridad competente del país deberá publicar una resolución que regule las operaciones.

Es necesario esto para poder garantizar la seguridad en todas las fases de vuelo, hay que tener en cuenta que los segmentos que requieren más precisión es cuando la aeronave se encuentra en el espacio aéreo de un núcleo urbano, en concreto en las maniobras de ascenso y descenso. Será necesario establecer limitaciones en términos de velocidad de ascenso, separación con el resto de las aeronaves para que pueda haber un buen control del tráfico aéreo.

También será necesario regular las operaciones en condiciones desfavorables para garantizar siempre la seguridad.

Otro aspecto importante será la integración de los eVTOL en el espacio aéreo con el resto de las aeronaves. De esto tratan los servicios U-Space, albergar en el mismo espacio los diferentes tipos de aeronaves para que puedan coexistir y cooperar en armonía [13]. Con ello se garantiza la seguridad de los usuarios del espacio aéreo y de las personas en tierra.

Hasta que U-Space no esté operativo se prevé que los eVTOL, al encontrarse en un espacio aéreo de clase D al igual que los helicópteros, deberán pedir autorización a ATM indicando el origen y destino de las operaciones.

CAPÍTULO 4. ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO

4.1 Análisis de los estudios de aceptación social

Para promover el despliegue de UAM en la Unión Europea, EASA realizó en 2020 un estudio sobre la aceptación social. Se identificaron varias ciudades como posibles objetivos futuros para su implementación (Barcelona, Budapest, Hamburgo, Milán, París y Öresund).

La encuesta consistía en entrevistas cualitativas a diferentes grupos interesados tanto a nivel local, nacional como europeo.

La idea de EASA con estas encuestas era también poder sacar adelante alguna regulación, la cual pondría a Europa en la cabeza de este sector.

Por lo tanto, analizar este estudio es de mayor importancia para darnos una idea de cuáles serán las ciudades europeas más dispuestas a albergar esta nueva forma de desplazarse, y así poder decantarnos por alguna de ellas para establecer el emplazamiento.

Como se puede observar en la siguiente gráfica, los tres desafíos más mencionados en los artículos publicados sobre UAM son:

- La infraestructura: Encontrar la ubicación adecuada o edificio donde albergar un vertipuerto.
- La seguridad: Llegar a los mismos niveles de seguridad que la aviación comercial.
- El ruido: Alcanzar un bajo nivel de ruido para una mayor aceptación social.

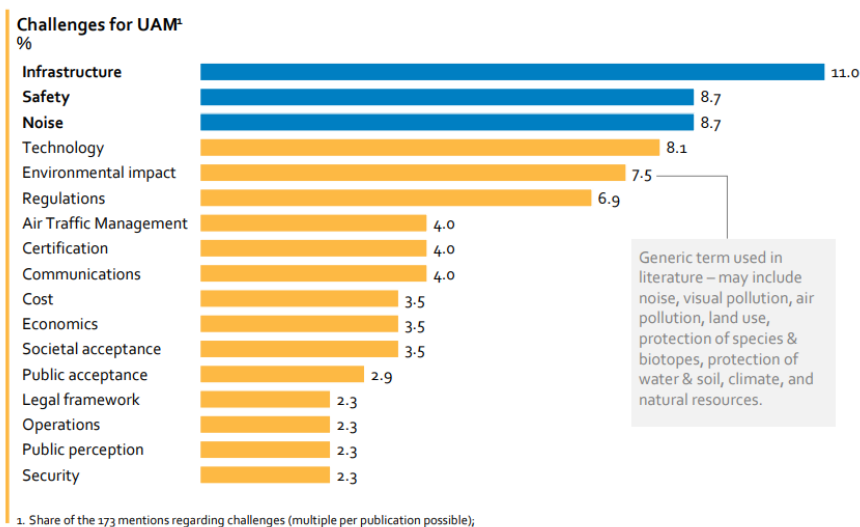


Fig.4.1 Desafíos de UAM

En cuanto a los factores de aceptación social, los dos más predominantes siguen siendo el ruido y la seguridad, seguidos de la privacidad.

Las condiciones meteorológicas tendrán gran relevancia en la voluntad de la gente a la hora de utilizar este servicio. Los participantes en la encuesta de Booz Allen Hamilton mostraban altos niveles de miedo y preocupación a volar durante episodios de mal tiempo, se sentían aprensivos a la hora de volar con nieve, lluvia, baja visibilidad y turbulencias, mientras que tendían a ser indiferentes a las condiciones meteorológicas de frío o calor. El 54% de los encuestados decían tener miedo si se dieran situaciones con nieve, el 57% con niebla o baja visibilidad y el 54% en escenarios con turbulencias. Debido a esto será importante darle gran importancia al factor climático, será preferible una ciudad donde se den estas situaciones en muy raras ocasiones.

Es muy importante que donde se encuentre el vertipuerto haya una buena red de electricidad, ya que será necesario poder cargar las baterías en cualquier momento y a alto rendimiento, en el capítulo del diseño de la infraestructura se explicará bien en detalle. Otro factor importante a la hora de escoger el emplazamiento es que tenga buen acceso para la gente, un lugar donde se pueda acceder mediante coche (será necesario contar con un parking en las inmediaciones), taxi y transporte público sería preferible como ya se comentó anteriormente en el análisis del estudio realizado por la consultora Booz Allen Hamilton.

En el estudio se analizaron las ciudades europeas para diferentes casos:

- Transporte al aeropuerto
- Turismo
- Red de transporte entre ciudades de la misma área metropolitana o región
- Primeros auxilios
- Suministros médicos
- Envío de paquetes a propiedades privadas

El propósito de este trabajo se centra principalmente en los tres primeros casos, por lo que se le dará más importancia a las ciudades que mejor encajen con esos servicios.

En el estudio una vez preseleccionadas las ciudades, en función de su población, si cuentan con un aeropuerto, número de viajeros entre la ciudad y el aeropuerto y el PIB per cápita, se les clasificaba según un indicador de clave de rendimiento (KPIs) que tiene en cuenta el tamaño de la ciudad, la distancia entre la ciudad y el aeropuerto, la tasa de congestión de tráfico, el precio del taxi, las condiciones meteorológicas entre otras.

A las 15 con mayor puntuación se les realizaba una evaluación de la infraestructura, viendo si se podría ubicar en la ciudad los vertipuertos, si hay ríos o carreteras que diluyan el ruido y finalmente eran seleccionadas las 6 ciudades mencionadas anteriormente.

En la siguiente imagen se puede observar la lista de ciudades, ordenadas por idoneidad para UAM en el caso de airport shuttle.

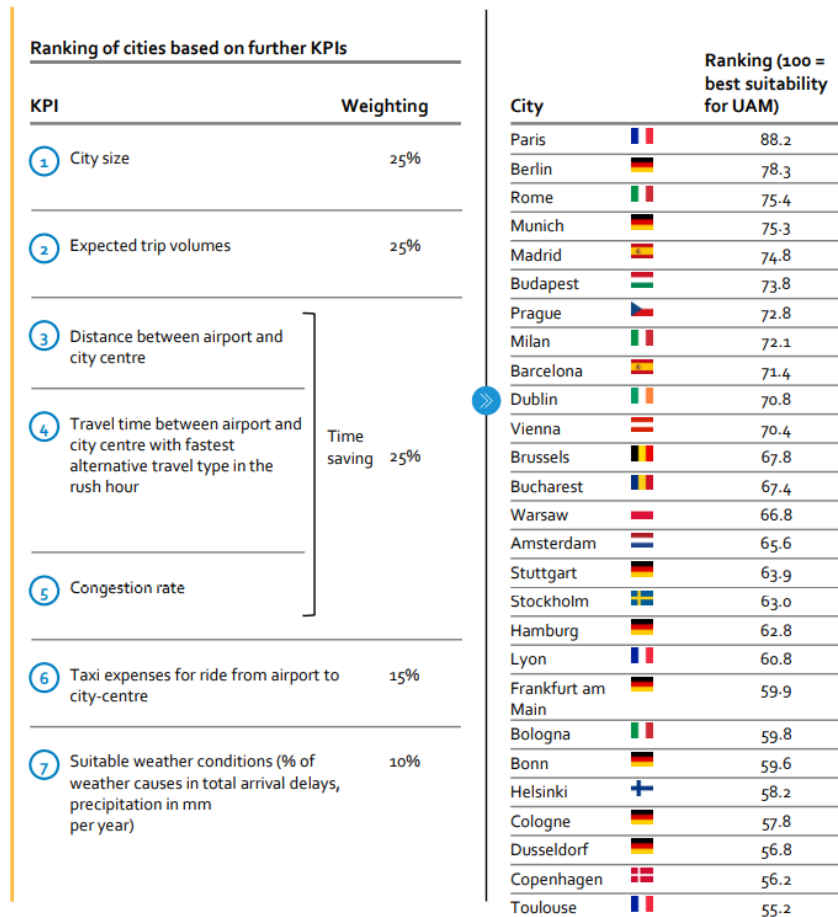


Fig.4.2 Ranking de idoneidad de las ciudades

A continuación, se comentarán los resultados más destacados del estudio realizado por McKinsey que darán lugar a la elección final de la ciudad en la que se localizará el emplazamiento.

En la siguiente gráfica se muestra que tan probable es que la gente esté dispuesta a utilizar los servicios separados tanto por países como por target groups. En el caso de air taxis se especificaba que el servicio sería entre un 25-50% más caro que el de taxi convencional, pero se reduciría a la mitad el tiempo empleado en el desplazamiento.

Fig.4.3 Disposición a probar los servicios en función de la ciudad

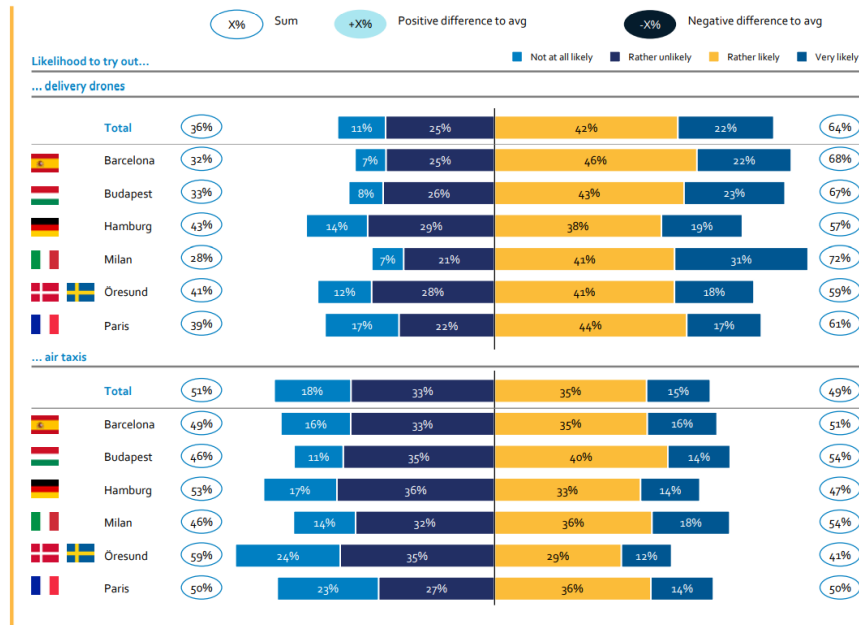


Fig.4.3 Disposición a probar los servicios en función de la ciudad

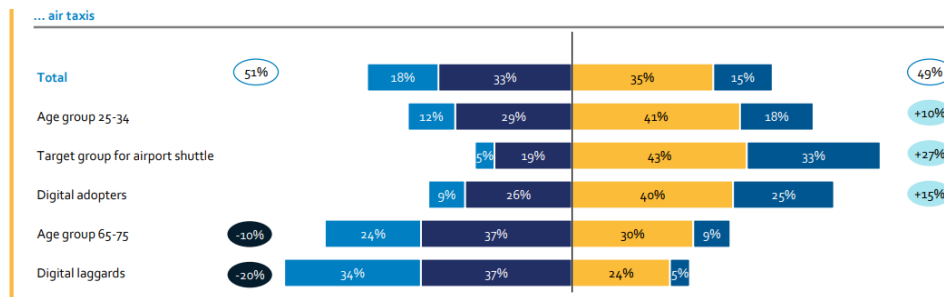


Fig 4.4 Disposición a probar los servicios en función de target group

Los resultados son muy positivos para todas las ciudades y destacan especialmente Barcelona y Milán. En cuanto a los target groups, los más interesados serían los jóvenes y los que se decantarían por este servicio para ir al aeropuerto.

A la hora de escoger el emplazamiento dentro de una ciudad es indispensable conocer las preocupaciones de la población, de lo contrario afectaría negativamente a la actividad del servicio.

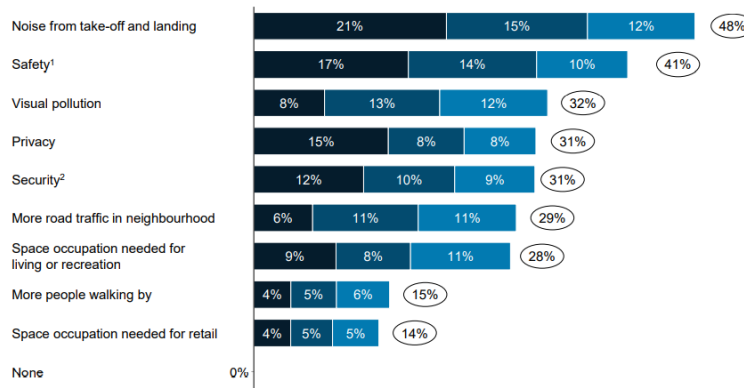


Fig.4.5 Preocupaciones de la población en relación a UAM

La principal causa de desencanto es el ruido, lo ideal en este caso sería ubicar el vertipuerto en una zona totalmente aislada, donde no se molestará a los vecinos, pero esto en la realidad no es posible, la estación se debe situar en un sitio céntrico y accesible para los clientes. Si bien es cierto que es altamente recomendable escoger una zona con baja densidad de edificios la cual daría escapatoria al ruido. Otra hipótesis a tener en cuenta sería elegir una zona que esté ya transitada y así no congestionar zonas no preparadas.

La seguridad siempre aparece como una de las principales causas, en cuanto a ello hay poco que hacer tan solo asegurarse de diseñar correctamente las superficies limitadoras de obstáculos y así que el entorno no dificulte las maniobras.

Las causas de desencanto relacionadas con los vertipuertos tienen relación con la privacidad de los vecinos en sus domicilios y la localización del vertipuerto en la ciudad. Barcelona resulta la ciudad con las mayores tasas de aceptación en las respuestas, aunque el tema de la localización y de la privacidad sigue siendo un obstáculo.

Los resultados apuntan a que las dos ciudades más idóneas para ofrecer los servicios UAM, en concreto Airport shuttle y air taxi, son Barcelona y Milán.

4.2 Elección final del emplazamiento

Finalmente se ha decidido escoger la Ciudad Condal como la localización estratégica de este proyecto.

Los ciudadanos encuestados han visto con buenos ojos esta nueva forma de transporte.

Son incontables los beneficios que esto aportaría a la capital catalana que se convertiría en pionera de esta nueva práctica. Sin ninguna duda pondría a la ciudad como foco europeo del desarrollo tecnológico. Además, atraería a grandes inversores y reforzaría el prestigio con el que cuenta.

Barcelona es un sitio ideal para construir un primer vertiport. En cuanto a la movilidad entre regiones, si se dibuja un radio de 300 km se abarcan otras grandes ciudades como Valencia, Andorra la Vella, Toulouse, Montpellier, Mallorca, Menorca, Ibiza y zonas de veraneo como la costa Brava o Daurada. Pudiendo reducir enormemente el tiempo de desplazamiento en todas ellas.

La ventaja principal respecto a las otras ciudades que hay que coger un avión es que se reduce significativamente el tiempo de embarque, el de llegada al aeropuerto, el de facturación, en definitiva, se reduce el tiempo en todos los segmentos.

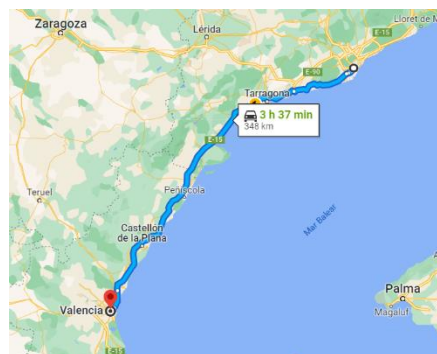


Fig.4.6 Trayecto en coche desde Barcelona a Valencia

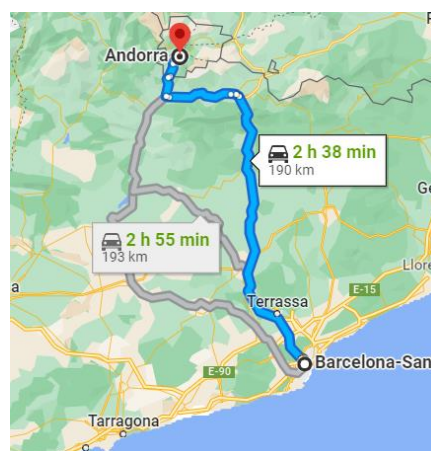


Fig.4.7 Trayecto en coche desde Barcelona a Andorra

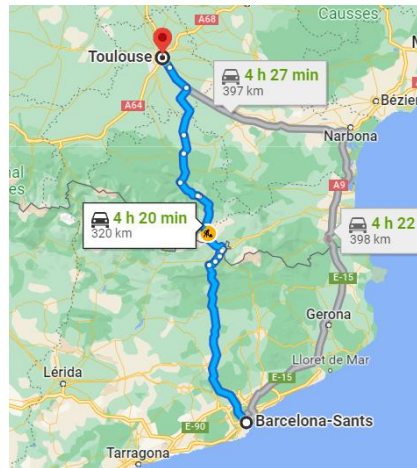


Fig.4.8 Trayecto en coche desde Barcelona a Toulouse

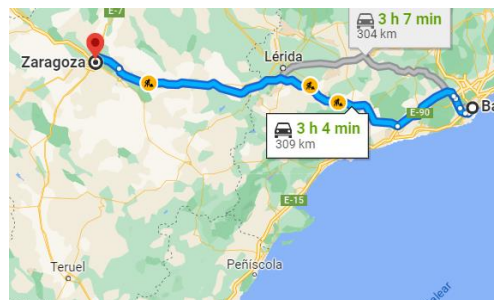


Fig.4.9 Trayecto en coche desde Barcelona a Zaragoza

Estos son algunos de los ejemplos de trayectos de media-larga distancia que se podrían hacer con aeronaves eVTOL de largo alcance.

Todos ellos tienen una distancia en línea recta inferior a 300 km. En el caso de Barcelona-Valencia, siendo la distancia en línea recta entre las dos ciudades de casi 300km, se reduciría el tiempo de viaje en 2 horas y 37 minutos pasando a ser únicamente el 28% del tiempo empleado en la ruta convencional.

Ahora hay que buscar el mejor sitio para situar el vertipuerto dentro de la ciudad. Dicha estación tiene que contar con las siguientes características ya mencionadas anteriormente:

- Accesible mediante los diferentes medios de transporte.
- Baja densidad urbanística para facilitar las maniobras y mitigar el ruido.
- Superficie lo suficientemente grande como para albergar toda la infraestructura
- Fácilmente conectada con el resto de la ciudad.

Se han buscado lugares idóneos que cumplan con las características necesarias y con la ayuda de Google Maps que tiene la funcionalidad de mostrar las líneas

de transporte público se ha barrido la ciudad entera y se obtienen tres candidatos (Sants estació, plaça Espanya y plaça Catalunya).

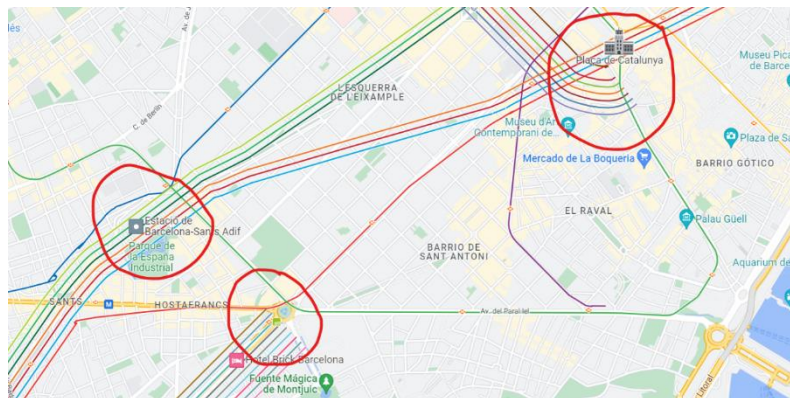


Fig.4.10 Localizaciones candidatas

Finalmente se descarta plaça Catalunya por la dificultad de encontrar espacio suficiente y plaça Espanya porque la estación de Sants está mucho más conectada.

Por la estación de Sants pasan diariamente 100.000 personas. Es además es la estación que concentra el mayor tráfico de cercanías de la ciudad al confluir en ella las líneas R1, R2, R3 y R4, también pasan por ella líneas de larga y media distancia, habilitada para trenes de alta velocidad, y con destinos tanto nacionales como internacionales. En cuanto a líneas de tren por Sants pasa la L3 y la L5, y muy cerca (en plaça de Sants) la L1 siendo estas dos últimas las más transitadas con un total de 36 y 37 millones respectivamente. También cuenta con la estación de autobuses de Sants que opera rutas hacia el resto de España y con numerosas líneas de autobuses urbanos operados por TMB.

Si bien es cierto que para constituir la red de transporte es necesario contar con más de un vertipuerto, este estudio se limita a diseñar solo uno. El diseño del mismo es perfectamente extrapolable, pudiendo replicarse en las inmediaciones del aeropuerto o dentro del mismo si se reserva un área especial. Al tener esa zona una menor densidad urbana sería más fácil encontrar una mayor superficie. Este segundo vertipuerto contaría con una zona reservada para el mantenimiento y puesta en funcionamiento de las aeronaves.

Con la ayuda de Google Earth se ha identificado una posible zona donde se podría emplazar el vertipuerto, esta contaría con área suficiente para una posible ampliación en un futuro. Se encuentra justo encima de la entrada principal, donde se encuentran los coches y furgonetas de alquiler y las máquinas exteriores de aire acondicionado.

Los clientes podrían disfrutar del parking de la estación para aparcar su vehículo.

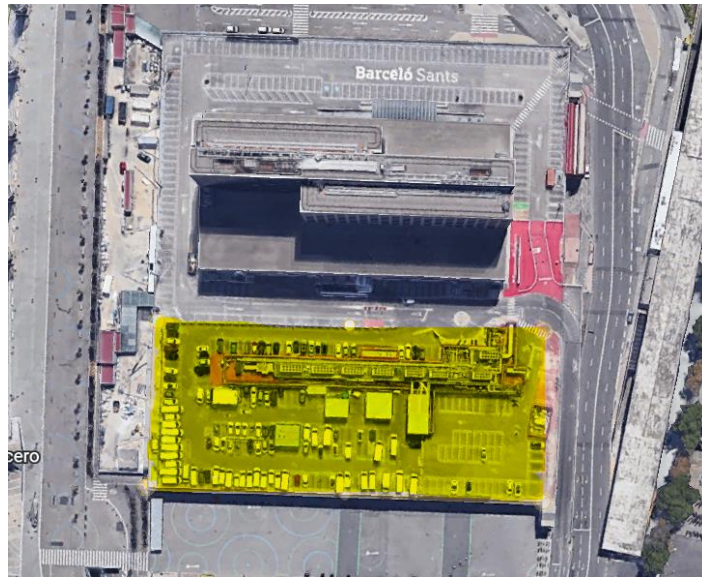


Fig.4.11 Localización escogida (Estació de Sants-Barcelona)



Fig.4.12 Superficie disponible (Estació de Sants-Barcelona)

4.3 Estudio meteorológico

Es necesario entonces realizar un estudio meteorológico que garantice la viabilidad de las operaciones. Para ello se ha utilizado el archivo meteorológico proporcionado por Meteoblue de Sants-Monjuïc.

Los datos son los siguientes:

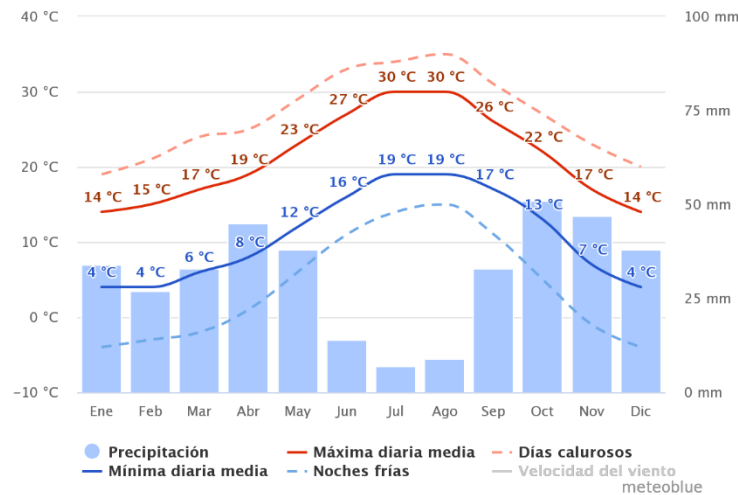


Fig.4.13 Diagrama de temperatura

La línea roja continua representa la máxima diaria media, la temperatura máxima de un día por cada mes. Del mismo modo la línea azul continua, mínima diaria media, muestra la media de la temperatura mínima. Las líneas discontinuas muestran los valores medios del día más caliente y noche más fría de cada mes en los últimos 30 años. Estos valores cumplen con el requerimiento de OACI de representar valores de al menos 5 años consecutivos. Como se puede observar los valores máximos y mínimos se encuentran dentro de los rangos de temperaturas permitidos para el correcto funcionamiento de las aeronaves. Desafortunadamente los operadores no han hecho públicos estos valores, pero se puede tomar como referencia los de los helicópteros y los de las baterías de alta densidad energética, siendo éstos típicamente de entre -20°C a 50°C . Los valores medios de las temperaturas máximas y mínimas se encuentran en torno a los 35°C y -5°C respectivamente por lo tanto la temperatura no será un factor limitante.

EASA no hace referencia al factor de utilización del vertipuerto en su manual de diseño, pero se seguirá su recomendación que éste debe de ser de al menos un 95%. El estudio del viento es necesario para saber las direcciones de aproximación. EASA también indica que para el diseño y ubicación del vertipuerto se tienen que minimizar las operaciones con viento cruzado y evitar el downwind. Los helicópteros pueden maniobrar con rachas de viento cruzado de hasta 50 knots 93 Km/h) y en algunos informes de VTOLs, como el multicopter de rescate de Volocopter la intensidad de viento cruzado máxima es de 20 knots (37 Km/h) aunque se prevé que los VTOL lleguen a niveles cercanos a los helicópteros.

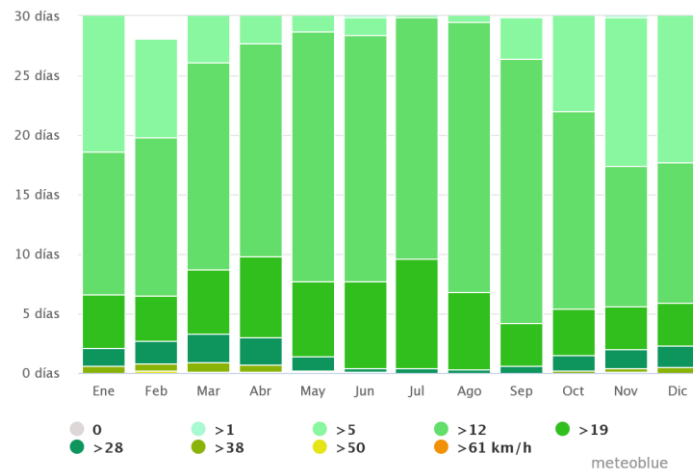


Fig.4.13 Diagrama de intensidad del viento

En el diagrama de vientos de Barcelona se puede comprobar que las rachas de viento no superarían esas magnitudes, excepto en casos muy aislados (0.6 días por mes durante los meses de enero a abril).

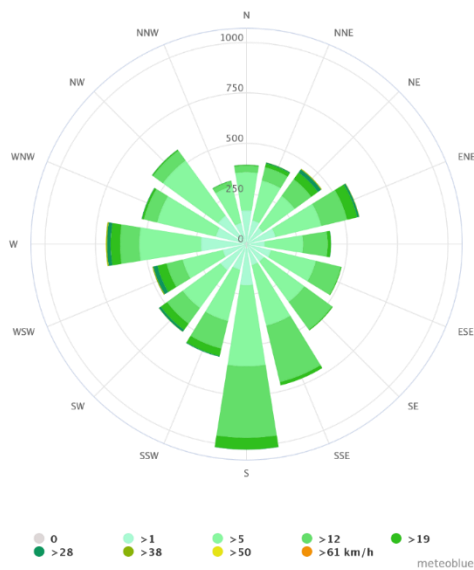


Fig.4.14 Rosa de los vientos

Con la ayuda de la rosa de los vientos se pueden detectar las direcciones dominantes del viento, en este caso predomina el viento del sur. Sin embargo, la velocidad máxima del viento en este caso es de más de 28km/h y se da únicamente una hora al año de media.

Por lo que el diseño de las direcciones de despegue y aterrizaje se regirá por los parámetros de diseño como las superficies limitadoras de obstáculos y la influencia del entorno (edificios cercanos).

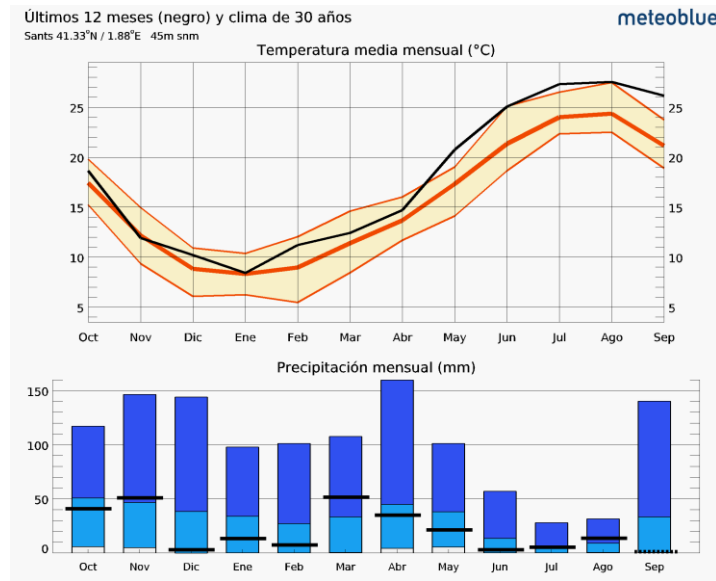


Fig.4.15 Registro de precipitaciones y temperaturas

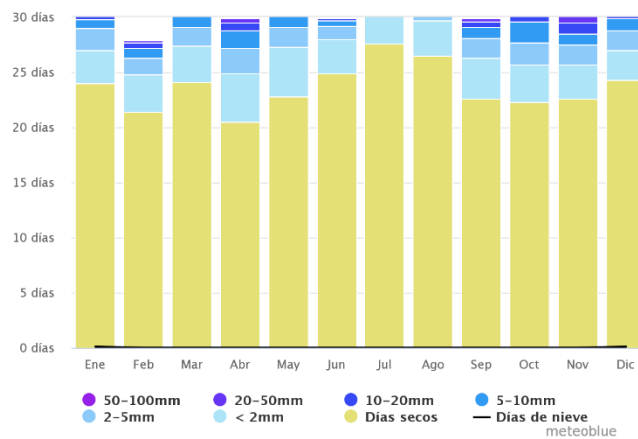


Fig.4.15 Diagrama de precipitaciones

También es necesario analizar las precipitaciones en las inmediaciones del lugar escogido, con los datos obtenidos de Meteoblue se extraen las siguientes conclusiones:

No será necesario cubrir los puestos de estacionamiento con una estructura en forma de hangar ya que sería un gasto innecesario dado el poco nivel de lluvia que cae en esa zona. Las aeronaves están preparadas para tales niveles de lluvia. Por otro lado, los niveles de precipitación desfavorable, entendiendo esto como granizo o nieve los cuales dificultarían las operaciones, son prácticamente nulos

CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LA ESTACIÓN

El diseño de la estación es el punto clave del proyecto, como ya se ha visto esta se tiene que ubicar de manera estratégica para poder dar servicio al mayor número de personas, siendo así accesible mediante todas las formas de transporte. Debe desarrollarse en una zona que permita conectar el centro de la ciudad con diferentes puntos de interés como el aeropuerto u otras ciudades colindantes.

Debido al alto tráfico de personas previsto será necesaria la ubicación de una terminal que dé servicio a los clientes en el lado tierra y diferentes puntos de estacionamiento y recarga de las baterías en el lado aire.

La terminal tiene que contar con los sistemas de seguridad y control necesarios para garantizar el éxito de las operaciones de una manera fluida y coordinada, facilitando el flujo de operaciones de llegada y salida y la distribución y control de los pasajeros dentro de la misma.

Para poder diseñar la plataforma de manera que de servicio a las exigencias del mercado y la demanda inicial prevista primero será necesario hacer un estudio de demanda.

5.1 Estudio de demanda

El Plan Director del Aeropuerto de Barcelona en el capítulo 14 indica que el 45% de la gente que llega al aeropuerto lo hace vía taxi. El taxi sería el modo de transporte que más competiría con los eVTOLs en la ruta ciudad-aeropuerto.

Si se toman los datos facilitados por la vanguardia [14] de número de pasajeros anuales en el año 2019, tomando este año como referencia ya que los siguientes han sido afectados por la pandemia, se obtienen unos números de 52.686.512 pasajeros anuales.

Para estimar la demanda diaria de pasajeros que utilizarían los servicios eVTOL hay que ponerse en el escenario más restrictivo y real definido por la consultora Booz Allen Hamilton en su estudio, el cual tiene en cuenta factores como la voluntad de pagar más respecto a los métodos de transporte convencionales, las condiciones desfavorables del tiempo o las horas en las que se ofrecería el servicio (de 7 de la mañana a 6 de la tarde) y todo esto resulta en una demanda del 0.5% de la que tendría el caso no restringido.

Los números obtenidos son los siguientes:

Pasajeros que llegan o se van del aeropuerto en taxi (media diaria):

$$0.45 * 52.686.512 / 365 = 64.955 \text{ pasajeros}$$

Pasajeros que utilizarían el eVTOL para desplazarse desde o al aeropuerto (teniendo como punto de partida o final el vertipuerto) :

$$64955 * 0.5\% = 325 \text{ pasajeros}$$

Teniendo en cuenta una media de pasajeros por trayecto mediante eVTOL de 4 personas se obtiene un número mínimo de operaciones diarias de $325/4 = 82$ operaciones.

Lilium en su página web [15] indica que sus aeronaves podrán ser cargadas al 80% en 15 minutos y totalmente en 30 minutos. Al tratarse de viajes de corto recorrido se tomará como tiempo de carga la carga parcial.

Entonces cada puesto de estacionamiento y carga podría dar servicio a cuatro aeronaves por hora. Dividiendo por el número de horas de servicio en las que el vertipuerto está operativo se obtiene un tráfico de $82/11 = 7.45$ operaciones por hora. Por lo que únicamente sería necesario contar con 2 puntos de estacionamiento y carga para poder dar servicio a todo el conjunto de las operaciones.

Se trata de un caso muy genérico e hipotético ya que la cantidad de operaciones por día en el aeropuerto varía significativamente por mes, es también muy probable que aparezcan picos de demanda y que la tendencia del uso de este nuevo sistema de transporte sea creciente y que no se use únicamente para el transporte ciudad-aeropuerto sino que se pueda utilizar para transporte regional o turístico por la ciudad, por lo que será necesario una buena previsión que pueda albergar una demanda mucho mayor.

Se ha decidido que el vertipuerto cuente con 6 puntos de estacionamiento y carga, lo cual permitirá una gestión eficiente de la plataforma evitando así la congestión, una carga completa de las baterías y un margen suficiente para el crecimiento de la demanda.

Con las condiciones anteriormente descritas y esta configuración se podría alcanzar el siguiente número de operaciones diarias:

Tiempo de carga parcial: 15 minutos
Número de horas operativas: 11 h
Puntos de estacionamiento y carga: 6

Operaciones máximas diarias:

$$11h * (60 \text{ min}) / (1h * 15 \text{ min/carga}) * 6 \text{ estacionamientos} = 264 \text{ operaciones}$$

Incrementando así en un 320% las operaciones requeridas inicialmente.

5.2 Definición de áreas, sistemas de iluminación y marcas

Tal y como indica el manual de diseño, para diseñar un vertipuerto los siguientes parámetros se tienen que considerar:

- Las dimensiones más grandes
- La masa máxima de despegue (MTOM)
- Los criterios más críticos para evitar obstáculos

Para determinar los parámetros de diseño y las dimensiones de la infraestructura es necesario tomar como referencia la aeronave más restrictiva, siendo esta la que tenga las dimensiones más grandes y la mayor masa máxima de despegue (MTOW).

Para dicho diseño se toma el valor 'D' como el diámetro del menor círculo que encierra la proyección de la aeronave en el plano de planta.

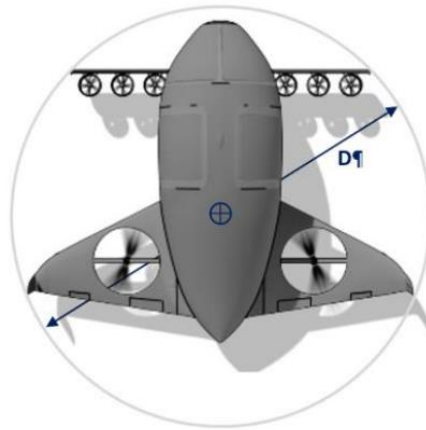


Fig.5.1 "D" de diseño

5.2.1 FATO

El área de despegue y aproximación final, Final Approach and Take-off Area por sus siglas en inglés, tiene que ser un área libre de obstáculos de tamaño y forma suficientes para garantizar la contención de cada parte de la aeronave con capacidad VTOL de diseño en la fase final de la aproximación y al inicio del despegue de acuerdo con los procedimientos.

La superficie tiene que ser resistente a los efectos de la corriente descendente (downwash) y que tenga una resistencia capaz de soportar las cargas previstas y garantice un drenaje eficaz.

Las dimensiones de la misma tienen que ser 1.5 veces la D de diseño, en este caso la de la aeronave más restrictiva. (Aeronave más restrictiva Lilium D= 13.9 m)

Los objetos esenciales que estén localizados dentro de la FATO no deberían penetrar el plano horizontal en más de 5 cm.

La pendiente de la FATO no debe superar un 2% en ninguna dirección.

La FATO debe ser ubicada en un lugar que se minimice la influencia del entorno sobre ella. La distancia entre FATOs debe ser de al menos 60 m para eVTOLs con una masa menor a 3175 kg.

5.2.2 Áreas de seguridad

El objetivo del área de seguridad es proporcionar un área libre de obstáculos que se extienda más allá de la FATO, para compensar los errores en las maniobras ocasionados bajo las condiciones ambientales difíciles. Esta área de igual manera tiene que soportar las cargas ocasionadas por downwash y asegurar un drenaje efectivo.

Esta área se debe extender al menos 3 metros o $0.25D$ desde donde acaba la FATO, en este caso al D ser igual a 13.9m la distancia será de 3.475m

Los objetos móviles no están permitidos en el área de seguridad y los objetos esenciales que se encuentran en esta área no deberán penetrar la superficie que empieza en el final de la FATO a una altura de 25cm sobre un plano en dirección vertical y hacia fuera con un gradiente del 5%.

5.2.3 Protección contra el downwash (revisar)

La velocidad descendente generada por el eVTOL no afectará a la gente, ni a otros vehículos o estructuras de la calle ya que el vertipuerto se encuentra elevado varios pisos respecto al nivel de la calle. Tampoco afectará al personal del vertipuerto ni a los pasajeros que se encuentren en las inmediaciones ya que las FATO se ubican suficientemente alejadas de la terminal. Aun así, se especifica que la velocidad máxima hacia abajo sobre un área de $2D$ y a 1m respecto del suelo no debe superar los 60km/h. De todas formas, estos números deben ser publicados por los operadores, hasta la fecha no hay constancia.

5.2.4 Protección de talud lateral

El vertipuerto debe estar provisto con al menos una protección de talud lateral, creciendo desde el final del área de seguridad hacia fuera con una inclinación de 45 grados y extendiéndose una distancia de 10 metros. Esta superficie no debe ser penetrada por ningún obstáculo.

5.2.5 TLOF

El vertipuerto debe contar con al menos un área de toma de contacto y despegue, en este trabajo se establecen dos.

Igualmente será diseñada siguiendo los requerimientos de la aeronave más restrictiva. Sus especificaciones físicas deben ser lo suficientemente fuertes para soportar las cargas dinámicas asociadas al aterrizaje de la aeronave y a los efectos del downwash .Tiene que estar totalmente despejada, libre de

irregularidades. La superficie tiene que ser antideslizante para evitar caídas o que la aeronave patine. Debe asegurar un efectivo drenaje sin afectar negativamente al control y estabilidad de las operaciones.

Al ser un vertipuerto elevado respecto a la calle, las dimensiones de TLOF serán las de la D de diseño = 13.9m

TLOF debe estar centrado dentro de la FATO e indicar claramente la posición de toma de contacto.

5.2.6 Calles de rodaje

Son las destinadas al movimiento de las aeronaves por el vertipuerto desde el área de toma de contacto hasta el punto de estacionamiento o viceversa. El movimiento puede ser tanto por aire como por tierra por su propio medio o gracias a la acción de un medio externo.

Sus dimensiones deben ser lo suficientemente grandes para que pueda operar la aeronave con el tren de aterrizaje (UCW) más ancho o si es arrastrada por un medio terrestre, la anchura del vehículo terrestre, teniendo un margen en caso de que se desvíe. La anchura tiene que ser de al menos dos veces la anchura del tren aterrizaje de la aeronave más restrictiva

Las calles de rodaje deben estar desprovistas de cualquier obstáculo e irregularidades, de igual manera deben estar preparadas para soportar las cargas dinámicas de las aeronaves que vayan a atravesarlas y también de los efectos del downwash. Deben asegurar un drenaje eficaz sin afectar adversamente al control y estabilidad de la aeronave.

La inclinación transversal no puede superar el 2% y la inclinación longitudinal no puede superar el 3%.

La distancia entre las líneas centrales de las calles de rodaje debe ser de 1.25 veces la anchura de la aeronave más restrictiva y la distancia desde la línea central de la calle de rodadura a cualquier objeto debe ser de 0.75 veces la anchura de la aeronave más restrictiva.

5.2.7 Calles aéreas en tierra

Las características de seguridad son las mismas a las de las calles de rodaje.

La pendiente transversal no debe exceder un 4% hacia fuera desde el borde de la calle de rodaje.

Su anchura debe ser como mínimo 2 veces la anchura total de la aeronave más restrictiva y debe estar centrada en la calle de rodaje.

Los objetos esenciales no deben encontrarse a menos de 50 cm del borde de la calle aérea en tierra ni deben superar una altura de 25 cm por encima de la superficie de la calle aérea que se extiende con un gradiente hacia arriba y fuera del 5% desde el borde.

En el caso que las aeronaves se desplacen por el aire a través de estas calles no podrán superar los 37 km/h (20 kt)

5.2.8 Puntos de estacionamiento

Son las zonas encargadas para un embarque y desembarque seguro de los pasajeros y/o cargamentos. Esta área también debe estar desprovista de cualquier tipo de obstáculo.

Las características de seguridad son las mismas que se han mencionado para las otras partes de la zona aire. La inclinación no puede ser mayor al 3% en ninguna dirección.

Debido a los diferentes diseños de los eVTOLs, a diferencia de los helicópteros, es un trabajo más complejo el diseño de los puestos de estacionamiento. En este caso al operar con diferentes modelos de eVTOL se tendrá que diseñar dichos puestos en función de la aeronave de mayores dimensiones

Al diseñar los puestos de estacionamiento en función del valor D de la aeronave más restrictiva el valor del diámetro del puesto deberá ser de $1.2D$ del eVTOL de referencia.

Se deberá disponer de un área de protección que envuelva al punto de estacionamiento.

Los puntos de estacionamiento en este trabajo serán catalogados como no simultáneos, eso significa que, si hay puntos de estacionamiento adyacentes, las aeronaves no podrán operar a la vez. Esto facilita el diseño ya que las áreas de seguridad se podrán solapar siguiendo unos requisitos.

La plataforma se ha diseñado de forma simétrica, se cuenta con 6 puntos de estacionamiento, dos de los cuales serán ubicados en la línea que une las dos FATOs.

Se dará prioridad a los otros cuatro puntos de estacionamiento así los otros dos puntos de estacionamiento situados en la calle aérea que conecta las FATOs estarán libres, de tal manera las aeronaves podrán recorrer con total libertad del ala norte al ala sur y viceversa.

5.2.9 Superficies limitadoras de obstáculos (OLS)

A diferencia de los helipuertos convencionales, los vertipuertos cuentan con un mayor grado de libertad a la hora de diseñar las superficies que mantienen la trayectoria de aproximación y despegue protegida. De esta manera, se pueden seguir varias vías, la del diseño convencional, el cual se asemeja al del helipuerto y un diseño más adaptado para estas aeronaves ideadas para operar principalmente en centros urbanos.

En este estudio se ha seguido esta segunda metodología, más en concreto el diseño de un volumen omnidireccional. Este volumen de revolución está centrado en el origen del menor círculo que rodea a la aeronave. La ventaja de este diseño es que permite la aproximación desde cualquiera de las direcciones.

Es necesario definir los siguientes parámetros:

Parameter	Short description
h_1	Low hover height
h_2	High hover height
TO_{width}	Width at h_2
TO_{front}	Front distance at h_2
TO_{back}	Back distance at h_2
$FATO_{width}$	Width of the FATO
$FATO_{front}$	Front distance on FATO
$FATO_{back}$	Back distance on FATO
θ_{app}	Slope of approach surface
θ_{dep}	Slope of departure surface

Fig.5.2 Parámetros de diseño

La ratio de ascenso de la aeronave Lilium al acabar el ascenso vertical, según se especifica en el paper de la evaluación de rendimiento [15], es de 5° lo que en porcentaje representa un ascenso del 8.748% para tener un margen de seguridad la inclinación de la superficie de aproximación y despegue $\theta_{app/dep}$ se establece en 6%.

Al ser la FATO un círculo de $1.5D$, se establece $FATO_{BACK}$ y $FATO_{FRONT}$ como la mitad de dicho círculo.

De igual manera sucede con TO_{BACK} y TO_{FRONT} manteniendo la simetría. Los valores se calculan mediante las siguientes fórmulas.

Parameter	omnidirectional volume
$\varnothing TO_{omnidirection}$	$\sqrt{4 \times \max(TO_{front}, TO_{back})^2 + TO_{width}^2}$
$\varnothing FATO_{omnidirection}$	$\sqrt{4 \times \max(FATO_{front}, FATO_{back})^2 + FATO_{width}^2}$
$\theta_{omnidirection}$	$\min(\theta_{app}, \theta_{dep})$

Fig.5.3 Fórmulas para el cálculo de los parámetros de diseño

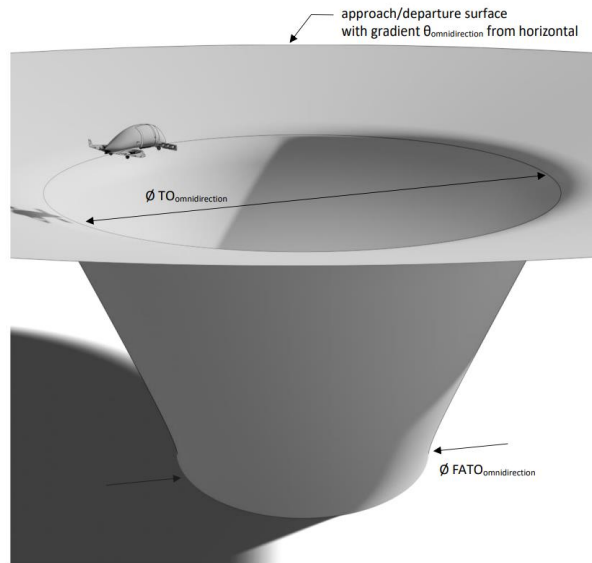


Fig.5.4 Ejemplo volumen libre de obstáculos

El volumen libre de obstáculos del vertipuerto se establece añadiendo $0.5D$ al diámetro de la FATO en la superficie y $1D$ a la altura h_2 como área de seguridad.

Las superficies limitadoras de obstáculos empiezan a la altura h_2 en el círculo que se ha añadido el área de seguridad y terminan a una altura de 152 m (500 ft) por encima de la elevación de la FATO

5.2.10 Ayudas visuales

En un principio la movilidad aérea se regirá por las normas de vuelo visual (VFR) por lo que los pilotos de los eVTOLs necesitarán que los vertipuertos estén provistos de ayudas para poder realizar las operaciones de una manera segura. Al igual que el resto de los aeródromos, los vertipuertos contarán con ayudas de tipo visual.

La siguiente lista de elementos requeridos se obtienen del manual de diseño de EASA, en el manual se indica que dicho capítulo ha sido una adaptación muy semejante a la del manual de helipuertos ICAO Anexo 14 Volumen II Documento 9261.

5.2.11 Indicador de la dirección del viento

Su objetivo es proveer al piloto con una identificación visual de la dirección del viento y darle una referencia de la velocidad del viento en las inmediaciones de la FATO y TLOF.

Debe estar ubicado de tal manera que no se vea perjudicado por los flujos de aire procedentes de las aeronaves y tiene que ser detectado por el piloto a una altura de 200 m.

Al estar el vertipuerto elevado respecto a la superficie las dimensiones del indicador de viento serán las siguientes:

Longitud 1.2 m
Diámetro del extremo mayor 0.3m
Diámetro del extremo menor 0.15m

Para facilitar la identificación se recomienda que sea de color anaranjado o blanco, en caso de que pueda causar confusión con el entorno es preferible que se alternen dichos colores.

Será iluminado en escenarios de baja luminosidad.

En este proyecto se incluirán dos indicadores, cada uno de ellos cerca de su respectiva FATO.

5.2.12 Marca de identificación del vertipuerto

Sirve para dar una indicación al piloto de dónde aterrizar y las direcciones de aproximación recomendadas. Se coloca en el centro de la FATO y TLOF.

El símbolo consiste en una letra 'V' de color blanco dentro de un círculo azul.

5.2.13 Marca de identificación FATO

Al tratarse de un vertipuerto con dos FATO es necesario identificarlas.

El número de identificación irá situado anexo a la marca de identificación del vertipuerto dentro de un círculo de diámetro 175 cm.

5.2.14 Marca de masa máxima permitida

El vertipuerto será diseñado de tal manera que pueda albergar a todas las aeronaves hasta una masa máxima de 3175 kg. Se deberá redondear esta cifra a los 100 kg más próximos seguido de la letra t y expresado de forma decimal con un punto.

Al tener las aeronaves un valor de D inferior a 15 m las letras y números no sobrepasarán los 60 cm.

5.2.15 Marca de D

Se deberá indicar el valor máximo de D con el que una aeronave puede operar el vertipuerto. En este caso será de 14 al redondear 13.9 a la unidad más

cercana. Debe ser orientada de tal manera que facilite su lectura desde la aproximación por la dirección recomendada.

La marca será de color blanco y de una longitud mínima de 60 cm.

5.2.16 Marca perimetral de FATO

Las FATOs deberán estar rodeadas por una línea blanca discontinua, sus segmentos serán de 30 cm de anchura y 1.5 m de longitud. La distancia entre estos no será menos de 1.5 ni mayor de 2m.

5.2.17 Marca de orientación

Indica al piloto la dirección preferible para la aproximación y despegue. Esta marca deberá ser ubicada en el centro de las FATOs.

La forma deberá ser la de un triángulo equilátero, estando la bisectriz de uno de sus ángulos alineada con la dirección de aproximación aconsejada. Las líneas que conforman el triángulo deben de ser continuas y que contrasten con el color del fondo. Las dimensiones de la marca serán las mostradas en la siguiente imagen.

También se le añadirán sus luces de noche correspondientes para ayudar al piloto a la identificación.

5.2.18 Marca perimetral de TLOF

El objetivo de esta marca es dar una indicación al piloto del área libre de obstáculos.

Se trata de una línea blanca continua de anchura mínima 30 cm a lo largo del perímetro de circunferencia de TLOF.

5.2.19 Marca de posicionamiento en toma de contacto

Esta marca sirve para indicar al piloto que tanto la aeronave como el tren de aterrizaje se encuentran en el sitio correcto.

La parte interior de la circunferencia de TDPM (siglas para marca de posicionamiento en toma de contacto en inglés) debe estar a una distancia de $0.25D$ del centro de TLOF. El diámetro interior de la circunferencia debe ser de $0.5D$ de la aeronave más restrictiva y la anchura de la línea será de 0.5m.

5.2.20 Marca de calle de rodaje

Deberá ser continua y con una anchura de 15 cm y de color amarillo.

El marcador de borde no superará los 25 cm de altura a una distancia de 0.5m del borde de la calle. El marcador será de color azul.

Si finalmente el vertipuerto se opera de noche es necesario que las líneas se puedan iluminar ya sea de manera interna o retroreflectiva.

5.2.21 Marca de puesto de estacionamiento

Los puestos de estacionamiento al haber sido diseñados bajo los criterios del valor de D será necesario añadir una marca.

También será necesario añadir líneas de entrada y salida al puesto de estacionamiento desde la calle de rodaje para guiar al piloto en la maniobra.

La marca del puesto de estacionamiento será la propia del puesto, trazando una circunferencia de diámetro $1.2D$ de línea continua y amarilla y de grosor 15 cm.

5.2.22 Marca de seguridad de plataforma

Estas líneas de seguridad delimitan el espacio de la zona aire de la zona destinada al personal de tierra, equipamiento de servicio, vehículos y pasajeros. Las líneas deben ser continuas, de grosor 10 cm y de color rojo.

5.2.23 Marca de la guía de alineación de la trayectoria de vuelo

Para que el piloto pueda orientarse correctamente para la aproximación o despegue son necesarias estas marcas.

Esta marca puede combinarse con el sistema de luces para la alineación de la trayectoria de vuelo. Consiste en una flecha, con unas dimensiones mínimas del cuerpo de 50cm de anchura y 3 m de longitud. Este vertipuerto no estipula una única dirección para las operaciones por lo que la flecha sirve como recomendación.

5.2.24 Luces

Los sistemas de luces sirven para que se puedan llevar a cabo maniobras en periodos de poca luminosidad o visibilidad y así poder distinguir un área de otra en el vertipuerto. Gracias a estas el piloto podrá guiarse durante las operaciones de aproximación y despegue y desplazarse sin ningún inconveniente por la plataforma.

Aunque el vertipuerto no esté pensado para realizar operaciones nocturnas tiene que estar preparado para las mismas. Así si en un futuro se quiere ampliar la ventana de operaciones no se tendrá que detener la actividad.

Al realizar un estudio meteorológico se observó que los vientos no alcanzaban los 20 knots en las inmediaciones del vertipuerto. En concreto, las velocidades típicas rondaban los 10-15 km/h por lo que no dificultaría las operaciones de aproximación y despegue. A pesar de que en el presente estudio haya sistemas de luces y marcas que recomienden la aproximación por una dirección concreta, será a la elección del piloto seguir dicha dirección o no en función de las condiciones meteorológicas en cada momento.

5.2.25 Baliza del vertipuerto

Al encontrarse el vertipuerto rodeado de edificios es posible que a largas distancias pueda ser difícil identificarlo, es por eso que se añade este tipo de baliza.

Esta baliza se ubicará en lo alto de la terminal dando gran facilidad a los pilotos para identificar el vertipuerto. Su funcionamiento consiste en la emisión de una serie de pulsos de corta duración de color blanco. La secuencia es la siguiente:

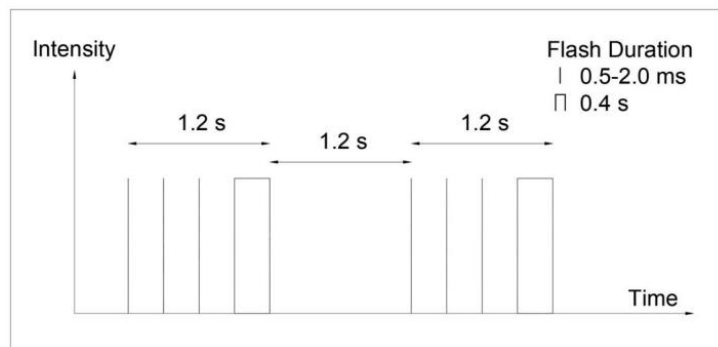


Fig.5.5 Secuencia de pulsos

Su luz debe ser detectada en todos los ángulos de la horizontal. La intensidad debe reducirse cuando una aeronave se aproxime para no deslumbrar al piloto.

5.2.26 Sistema de luces de la guía de alineación de la trayectoria de vuelo

Se encuentran dentro de la marca de guía de alineación mencionada anteriormente. El sistema lo forman un mínimo de 3 luces separadas una distancia de 6 m equidistantemente por intervalos de 1.5 a 3 m en función del espacio disponible. Las luces deberán ser blancas y omnidireccionales.

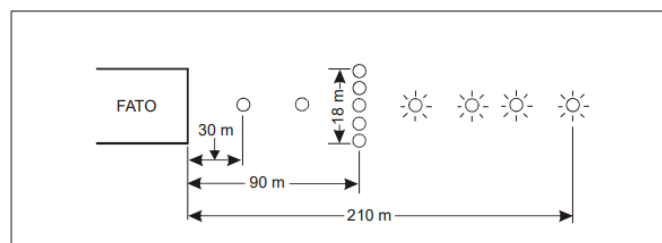


Fig.5.6 Sistema de luces de aproximación

5.2.27 Sistema de alineación de guiado visual

El sistema proporciona señales visibles y discretas para ayudar al piloto a alcanzar y mantener alineación con la pista de aproximación especificada y una separación lateral segura con respecto a los obstáculos durante la aproximación final.

El sistema indica al piloto si se encuentra desplazado hacia la derecha, izquierda o si sigue la dirección correcta.

5.2.28 Indicador visual de la pendiente de la aproximación

Su objetivo es proporcionar señales visibles y discretas, dentro de una elevación y azimut especificados, para ayudar al piloto a alcanzar y mantener la pendiente de aproximación a una posición deseada dentro de una FATO.

El sistema HAPI, Heliport Approach Path Indicator por sus siglas en inglés, deberá ser montado a la menor altura posible para no constituir una amenaza para las aeronaves. Este sistema da indicaciones visuales de la pendiente de aproximación deseada y de cualquier desviación de la misma.

Se ubicará en el borde de la FATO coincidiendo con el eje central orientado en la dirección recomendable para la aproximación.

Divide sus señales en 4 sectores: por encima de la pendiente, en la pendiente, ligeramente por debajo y por debajo de la pendiente.

La distribución de las luces sigue el siguiente formato :

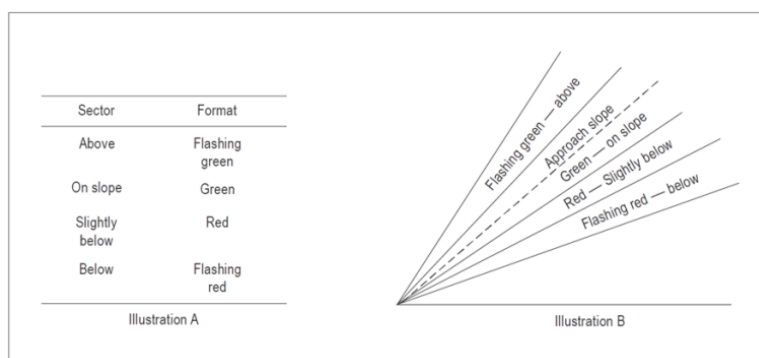


Fig.5.7 Formato de señal HAPI

5.2.29 Sistemas de iluminación de FATO

Sirven para dar al piloto una indicación de la forma, localización y extensión de la FATO.

Las luces se ubicarán equidistantemente separadas y a lo largo de los ejes de la FATO, en intervalos de no más de 5 y un mínimo de 10 luces. Serán luces omnidireccionales de color blanco.



Fig.5.8 Sistema de iluminación FATO

5.2.30 Sistemas de iluminación de TLOF

El objetivo es la adquisición visual desde un rango definido y proporcionar suficientes señales para permitir que se establezca un ángulo de aproximación adecuado.

Deberán ser colocadas a lo largo de la circunferencia que delimita la TLOF separadas en intervalos de 3 m equidistantemente y serán omnidireccionales de color verde.

5.2.31 Iluminación del indicador del vertipuerto

La marca 'V' del vertipuerto deberá ser iluminada para facilitar las operaciones nocturnas.

El perímetro de la 'V' será iluminado por luces verdes de 80 a 100 mm de grosor.

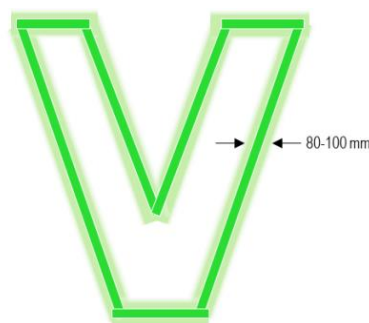


Fig.5.9 Iluminación del indicador del vertipuerto

5.2.32 Focos de iluminación de los puestos de estacionamiento

Estos focos sirven para iluminar la superficie para ayudar a la maniobra y el posicionamiento del VTOL y para facilitar las operaciones esenciales en torno a la aeronave.

Deben ubicarse en todos los puestos de estacionamiento destinados a ser utilizados de noche. La disposición y orientación de los focos debe ser tal que el puesto de estacionamiento de una aeronave reciba luz desde dos o más direcciones para minimizar las sombras

5.3 Representación en SolidWorks

Finalmente se ha utilizado el software SolidWorks para hacer una representación de como quedaría tanto la plataforma con los puestos de estacionamiento, calles de rodaje, áreas de seguridad, FATOs, TLOFs y superficies limitadoras de obstáculos correspondientes.

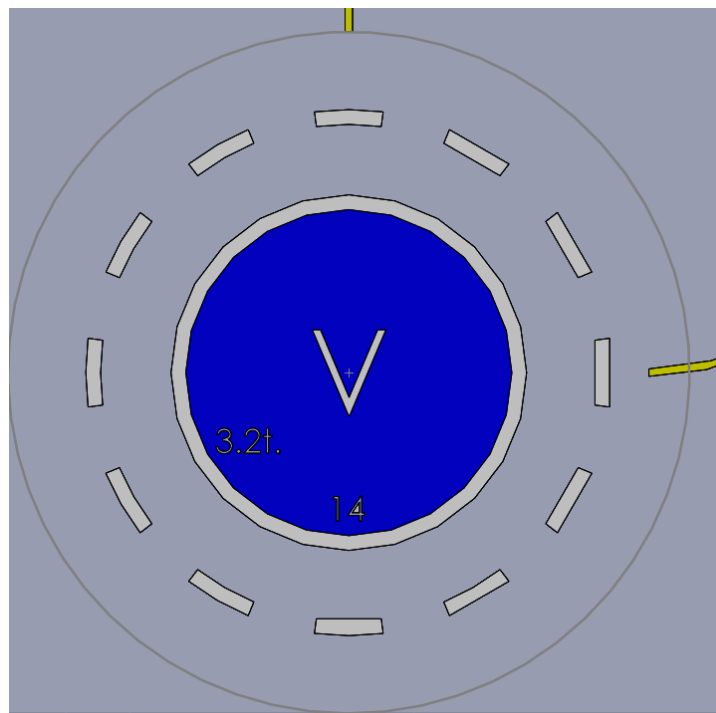


Fig.5.10 Zona de aproximación y despegue

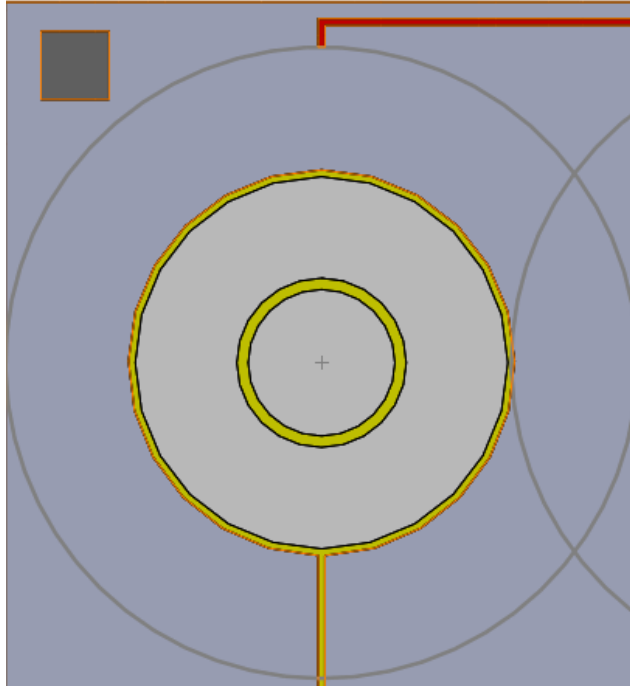


Fig.5.11 Puesto de estacionamiento

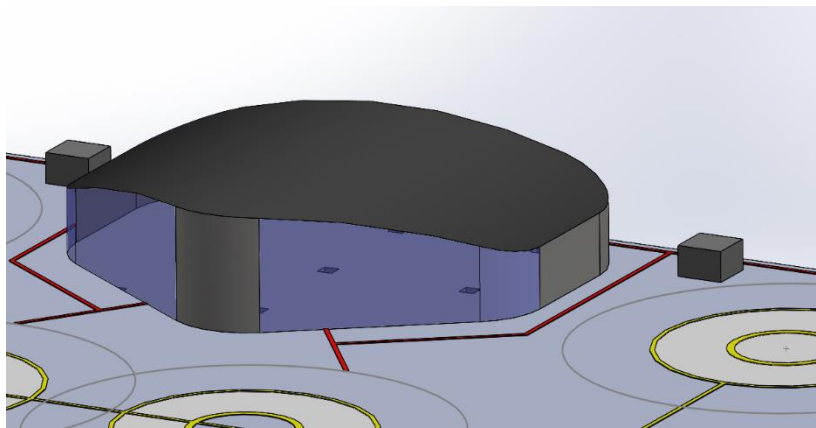


Fig.5.12 Terminal de pasajeros

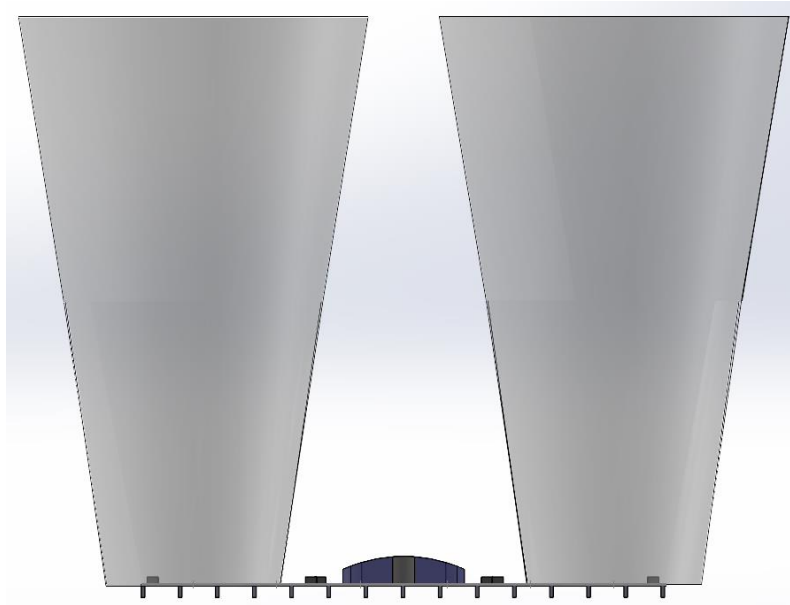


Fig.5.13 Superficies limitadoras de obstáculos

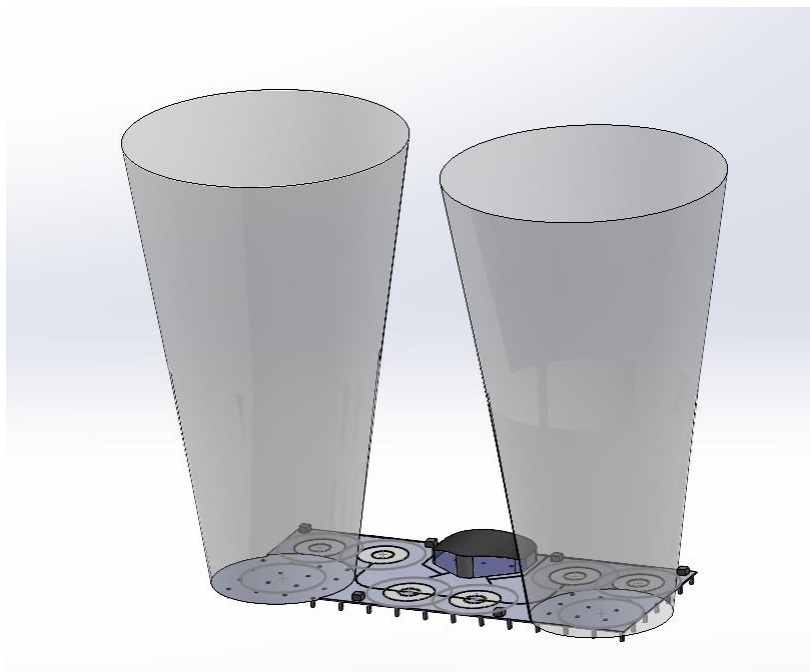


Fig.5.14 Superficies limitadoras de obstáculos

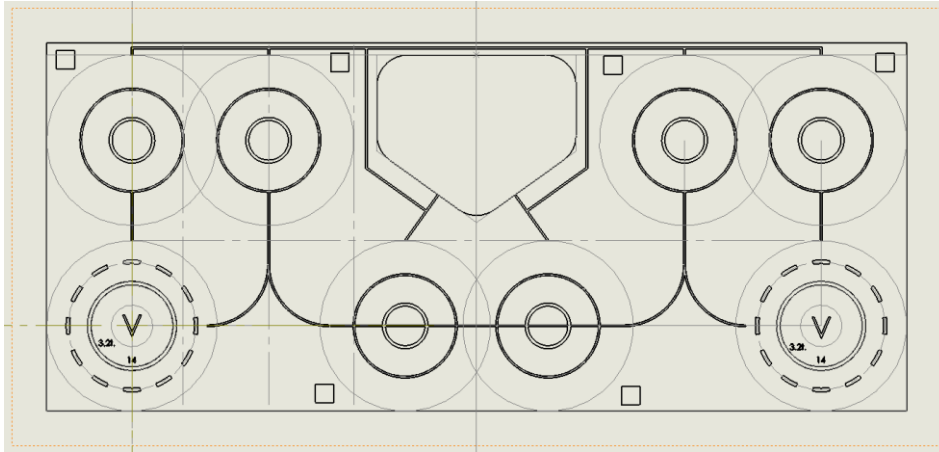


Fig.5.15 Vista de planta

CAPÍTULO 6. ESTUDIO FINANCIERO

Para desglosar los costes por año se ha utilizado la tabla de coeficientes de amortización lineal por la AEAT [16]

En el documento de la estimación económica del desarrollo previsible del aeropuerto de Gran Canaria que forma parte de la revisión del plan director se listan los costes de las inversiones a realizar. De ahí se obtiene una estimación del coste por m² de construcción del edificio terminal siendo este de 4000 euros. El periodo máximo de amortización para edificios industriales es de 68 años.

En cuanto al coste de construcción de la plataforma se ha hecho una aproximación del Presupuesto del Helipuerto de Algeciras, el cual cuenta con una superficie de 2.320 m². Al tratarse de un helipuerto con características similares, siendo también elevado, se puede realizar un cálculo proporcional para el coste de construcción de la plataforma del vertipuerto. Siendo la plataforma 3,23 veces más grande que la del helipuerto, se aproximará su precio a 3,23 veces el precio de construcción del helipuerto, siendo este de 200.000 euros. El periodo máximo de amortización para pavimentos es de 34 años.

Habrán dos turnos de personal en el vertipuerto. El equipo lo formarán dos operarios en la plataforma que se encargaran de gestionar las operaciones así como guiar a los pasajeros al punto de embarque y conectar los cargadores de las aeronaves. Dos personas que se encontrarán en la terminal al servicio de la gente, ofreciendo apoyo e información y gestionando los accesos. Un vigilante de seguridad encargado del control de pasajeros, aun siendo el control automático es necesaria su presencia para mantener el orden y la seguridad en todo momento. Una persona de limpieza para garantizar que la terminal se encuentre siempre limpia. Tendrán un sueldo anual de 25.000 euros brutos.

Según el estudio de la consultora Booz Allen Hamilton el coste de mantenimiento de la infraestructura y aeronaves será de 60 euros por hora. Teniendo en cuenta que el vertipuerto no se destinará para labores de mantenimiento más allá de los problemas imprevistos que puedan surgir se multiplicará por un factor de 0,25.

Se instalarán cargadores de tipo CCS para suministrar energía a las aeronaves. Estos cargadores de la marca ABB de última tecnología proporcionarán una potencia de 360kW y tendrán un coste unitario de 250.000 euros. Será necesario contar con 6 unidades, uno para cada punto de carga. El periodo máximo de amortización para instalaciones eléctricas, redes de distribución de la energía es de 40 años.

Elementos esenciales de la terminal:

Descripción	Unidades	Precio unitario
Arco Detector de Metales de 18 Zonas	2	1.633€
Cámara Domo Varifocal 4MP IP con Reconocimiento facial	10	272€
PORTILLO-PASILLO MOTORIZADO DE PANEL DESLIZANTE PARA UNA ELEVADA FRECUENCIA DE PASO	1	7.478€
Mobiliario y material de oficina		50.000€ (total)
Gemalto - Lector de documentos y pasaporte de página completa AT10K	2	1.500€
TERMINAL DE RECONOCIMIENTO FACIAL, PALMA (Y MASCARILLA) CON DETECTOR DE TEMPERATURA	2	1.626€

Tabla 6.1 Elementos esenciales de la terminal y costes asociados

Uno de los costes más representativos es el gasto eléctrico. El vertipuerto necesita al menos una potencia de 360kW para cada uno de sus puntos de estacionamiento, teniendo en cuenta que habrá momentos en que la demanda eléctrica será máxima se necesitará contar con una potencia de 2,5MW, manteniendo un margen para poder alimentar a la terminal. El coste para cargar cada batería irá en función del mercado y de la capacidad de la propia batería. Según Lilium [17] su jet tiene una capacidad de almacenamiento de energía de 305 kWh. Fijándonos en el precio del kWh, proporcionado por ETKHO [18] en referencia a grandes superficies como hospitales, que es de 15 céntimos por kWh, para poder cargar completamente la batería de un jet Lilium habría que pagar 45,75€. Este coste se le repercutirá al operador además del precio por operación.

Los costes del seguro se establecen como el 30% de los costes que estipula el Ayuntamiento de Barcelona por la concesión del emplazamiento.

Por último, al igual que los taxis aéreos y los servicios de transporte al aeropuerto estarán sujetos a impuestos y tasas como los taxis a la carta o los servicios de transporte compartido, también se le cobrarán tasas al operador de la infraestructura. Estos impuestos pueden ir desde el impuesto sobre las ventas, el impuesto sobre vehículos comerciales, fondo de compensación de los trabajadores, recargo por transporte público, recargo por accesibilidad, tasas de licencia, tasas de retirada, tasas de inspección, impuesto medioambiental e impuesto sobre la propiedad local/estatal. Cada uno de estos componentes fiscales depende de la ubicación y se asume un tipo impositivo unificado del 5-15% [19], en este caso del 10% de los ingresos brutos.

Por último se define un bloque de costes iniciales que están relacionados con estudios que hay que llevar a cabo para la construcción del vertipuerto, también se añaden los costes de formación del personal. Estos costes representan un 10% del coste de mantenimiento, infraestructura, electricidad, de los cargadores y de personal.

A continuación se listan los estudios que se tienen que realizar para la construcción de un helipuerto (se puede extrapolar al vertipuerto) [pruebas]:

- Estudios geotécnicos, para poder determinar el tipo de suelo y así realizar el diseño correspondiente de las bases de toda la estructura.
- Estudios de factibilidad aeronáutica.
- Estudios de carga de viento.
- Estudios de ruido y vibración.
- Diseño técnico del anteproyecto.
- La parcela en donde se realizar el helipuerto debe tener acceso a la energía eléctrica, en caso de no ser así tener su propia planta de energía solar.
- Permisos de construcción.
- Estudio de operación y de trayectorias.
- El helipuerto debe ser diseñado con una pista de aterrizaje para los tipos de helicópteros más convencionales.
- Gestiones de aeronáutica civil.
- Tener en cuenta no realizar ninguna construcción de helipuertos en zonas donde circulan muchas aves, incluso zonas de protección de las mismas.
- Pólizas de mantenimiento.
- Al diseñar helipuertos en ciudades deberá tomarse en cuenta la generación de ruido, ya que puede ser molesto para los vecinos de la zona, estudiar bien las normas locales de convivencia ciudadana y tratar de modificar la estructura a modo que se evite al máximo la generación de ruido en los aterrizajes del helicóptero.

Con todos los costes ya definidos se realiza el estudios financiero en función de 3 variables:

- Precio del m² al cual estipula el Ayuntamiento la concesión (75 ,100, 125 €/m²)
- Número de operaciones al día (82 , 264, 132)
- Precio que se le cobra al operador por operación (Aterrizaje o despegue) (100, 125, 150)

El coste de referencia se toma en base al documento publicado por Skyports London Heliport [20], al ser un modo de transporte más barato que su predecesor se aplicará una reducción del precio del 50% respecto a los grupos Band 1, Band 2 , Band 3, en este caso los valores corresponden a euros. En una etapa inicial no se cobrará parking fee pero los operadores deberán abonar los 45,75€ correspondientes a la recarga de las baterías.

La gran mayoría se las variables están definidas como hipótesis, se relacionan

unos costes con otros para poder llegar a un resultado aproximado. No es posible definir con certeza según que costes ya que no aparecen publicados en ningún sitio. Si bien es cierto que uno se puede basar en presupuestos anteriores para la construcción de la plataforma por ejemplo, y de ahí hacer una aproximación proporcional a las dimensiones en este caso, pero hay otros desembolsos que no es posible obtener un dato certero, por ejemplo el coste del seguro de la estación ,por cuánto ofrecería la licencia el ayuntamiento o los costes de certificación. Para poder ubicarse más cerca de unos números más realistas se tendría que seguir adelante con la construcción del proyecto y que las empresas encargadas dieran presupuestos.

Se han realizado dos casos para el estudio financiero, uno teniendo en cuenta un periodo de amortización de 20 años, suponiendo que la licencia se daría a 20 años, y otro estableciendo el periodo máximo de amortización correspondiente.

Preu m2	Activitat dia	Preu per operacio	Ingressos	Costos Mani	Costos lloguer	Costos infra	Costos elect	Costos carr	Costos persi	Costos mobilita	Altres costos	Cost Assegu	Costos inici	Costos total	Resultat operatiu	Margen de ganancia (%)
75	82	100	4,361,298	60225	562,500	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	436,229.75	168,750	186,323	3,239,247	1,123,050	25,7444736
75	82	125	5,110,548	60225	562,500	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	511,054.75	168,750	186,323	3,314,072	1,796,475	35,1523105
75	82	150	5,858,798	60225	562,500	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	585,879.75	168,750	186,323	3,388,897	2,469,900	42,1571240
75	264	100	14,044,470	60225	562,500	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,404,447.00	168,750	490,240	7,550,554	6,493,916	46,2382420
75	264	125	16,453,470	60225	562,500	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,645,347.00	168,750	490,240	7,791,454	8,662,016	52,6455272
75	264	150	18,862,470	60225	562,500	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,886,247.00	168,750	490,240	8,032,354	10,830,116	57,4162134
75	132	100	7,022,235	60225	562,500	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	702,223.50	168,750	269,817	4,423,672	2,598,563	37,0047859
75	132	125	8,226,735	60225	562,500	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	822,673.50	168,750	269,817	4,544,122	3,682,513	44,7839880
75	132	150	9,431,235	60225	562,500	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	943,123.50	168,750	269,817	4,664,572	4,766,663	50,5412390
100	82	100	4,361,298	60225	750,000	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	436,229.75	225,000	186,323	3,482,997	879,300.53	20,1568217
100	82	125	5,110,548	60225	750,000	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	511,054.75	225,000	186,323	3,557,822	1,552,725	30,3827628
100	82	150	5,858,798	60225	750,000	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	585,879.75	225,000	186,323	3,632,647	2,226,150	37,9967139
100	264	100	14,044,470	60225	750,000	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,404,447.00	225,000	490,240	7,794,304	6,250,166	44,5026834
100	264	125	16,453,470	60225	750,000	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,645,347.00	225,000	490,240	8,035,204	8,418,266	51,1640768
100	264	150	18,862,470	60225	750,000	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,886,247.00	225,000	490,240	8,276,104	10,586,366	56,1239648
100	132	100	7,022,235	60225	750,000	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	702,223.50	225,000	269,817	4,667,422	2,354,813	33,5336688
100	132	125	8,226,735	60225	750,000	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	822,673.50	225,000	269,817	4,787,872	3,428,863	41,8010672
100	132	150	9,431,235	60225	750,000	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	943,123.50	225,000	269,817	4,908,322	4,522,913	47,9567419
125	82	100	4,361,298	60225	937,500	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	436,229.75	281,250	186,323	3,726,747	635,550.53	14,5691697
125	82	125	5,110,548	60225	937,500	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	511,054.75	281,250	186,323	3,801,572	1,308,975	25,6132152
125	82	150	5,858,798	60225	937,500	96,206	1,369,298	37,500	300000	22,216.00	585,879.75	281,250	186,323	3,876,397	1,982,400	33,8363039
125	264	100	14,044,470	60225	937,500	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,404,447.00	281,250	490,240	8,038,054	6,006,416	42,7671249
125	264	125	16,453,470	60225	937,500	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,645,347.00	281,250	490,240	8,278,954	8,174,516	49,6826264
125	264	150	18,862,470	60225	937,500	96,206	4,408,470	37,500	300000	22,216.00	1,886,247.00	281,250	490,240	8,519,854	10,342,616	54,8317162
125	132	100	7,022,235	60225	937,500	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	702,223.50	281,250	269,817	4,911,172	2,111,063	30,0629517
125	132	125	8,226,735	60225	937,500	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	822,673.50	281,250	269,817	5,031,622	3,195,113	38,8381664
125	132	150	9,431,235	60225	937,500	96,206	2,204,235	37,500	300000	22,216.00	943,123.50	281,250	269,817	5,152,072	4,279,163	45,3722447

Fig.6.1 Tabla de datos 1

En la tabla se muestran los 3^3 escenarios. En función del precio del m^2 (75,100,125) correspondiendo a un coste de alquiler de 562.500, 750.000, 937.500€ respectivamente , las operaciones diarias, siendo 82 la demanda diaria prevista, 264 la demanda máxima y 132 operaciones un valor conservador entre los otros dos. Por último se establece el precio de operación que se le cobrará al operador de las aeronaves. En todos los casos el resultado operativo es positivo y con un margen de ganancias superior al 20% lo que resulta en una buena operación de negocio.

Ahora bien el caso más interesante es en el que se divide la inversión en el tiempo que se da la concesión de la licencia (20 años).

Preu m2	Activitat dia	Preu per operacio	Ingressos	Costos Man	Costos Roguer	Costos infra	Costos elect	Costos carré	Costos persi	Costos mobilia	Altres costos	Cost Assegu	Costos iniciu	Costos total	Resultat operatiu	Margen de ganancia (%)
75	82	100	4.362.298	60225	562.500	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	436.229.75	168.750	209.932	3.496.951	883.347,82	19,791077
75	82	125	5.110.548	60225	562.500	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	511.054.75	168.750	209.932	3.573.776	1.536.772	30,0705942
75	82	150	5.858.798	60225	562.500	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	585.879.75	168.750	209.932	3.648.601	2.210.197	37,7244135
75	264	100	14.044.470	60225	562.500	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.404.447.00	168.750	513.850	8.294.258	6.234.212	44,3890905
75	264	125	16.453.470	60225	562.500	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.645.347.00	168.750	513.850	8.051.158	8.402.312	51,0671153
75	264	150	18.862.470	60225	562.500	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.886.247.00	168.750	513.850	8.292.058	10.570.411	56,0393866
75	132	100	7.022.235	60225	562.500	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	702.223.50	168.750	293.426	4.683.376	2.338.859	33,3044829
75	132	125	8.226.735	60225	562.500	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	822.673.50	168.750	293.426	4.303.826	3.422.908	41,6071442
75	132	150	9.431.235	60225	562.500	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	943.123.50	168.750	293.426	4.924.276	4.906.959	47,7875856
100	82	100	4.362.298	60225	750.000	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	436.229.75	225.000	209.932	3.742.701	619.597,00	14,2045558
100	82	125	5.110.548	60225	750.000	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	511.054.75	225.000	209.932	3.817.526	1.293.022	25,3010465
100	82	150	5.858.798	60225	750.000	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	585.879.75	225.000	209.932	3.892.351	1.966.447	33,5640035
100	264	100	14.044.470	60225	750.000	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.404.447.00	225.000	513.850	8.054.008	5.990.462	42,6535319
100	264	125	16.453.470	60225	750.000	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.645.347.00	225.000	513.850	8.294.908	8.158.562	49,5866649
100	264	150	18.862.470	60225	750.000	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.886.247.00	225.000	513.850	8.535.808	10.321.666	54,7471381
100	132	100	7.022.235	60225	750.000	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	702.223.50	225.000	293.426	4.927.126	2.095.109	29,3536558
100	132	125	8.226.735	60225	750.000	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	822.673.50	225.000	293.426	5.047.576	3.179.159	38,4442434
100	132	150	9.431.235	60225	750.000	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	943.123.50	225.000	293.426	5.168.026	4.263.209	45,2030884
125	82	100	4.362.298	60225	937.500	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	436.229.75	281.250	209.932	3.986.451	375.847,00	8,61580394
125	82	125	5.110.548	60225	937.500	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	511.054.75	281.250	209.932	4.061.276	1.049.272	20,5314988
125	82	150	5.858.798	60225	937.500	294.800	1.369.298	75.000	300000	22.216.00	585.879.75	281.250	209.932	4.136.101	1.722.697	29,4035934
125	264	100	14.044.470	60225	937.500	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.404.447.00	281.250	513.850	8.297.758	5.745.712	40,9179734
125	264	125	16.453.470	60225	937.500	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.645.347.00	281.250	513.850	8.538.658	7.914.812	48,1942144
125	264	150	18.862.470	60225	937.500	294.800	4.408.470	75.000	300000	22.216.00	1.886.247.00	281.250	513.850	8.779.558	10.080.391	53,4548895
125	132	100	7.022.235	60225	937.500	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	702.223.50	281.250	293.426	5.170.876	1.851.395	26,3642487
125	132	125	8.226.735	60225	937.500	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	822.673.50	281.250	293.426	5.291.326	2.935.409	35,6813426
125	132	150	9.431.235	60225	937.500	294.800	2.204.235	75.000	300000	22.216.00	943.123.50	281.250	293.426	5.411.776	4.019.459	42,1859313

Fig.6.1 Tabla de datos 2

Fijándonos en el caso realista, considerando 82 operaciones diarias, se obtiene que en todos los escenarios se generarían ganancias. Si bien es cierto, hay algunos costes con los que no se contaría en periodos sucesores como son los costes iniciales. En estudios futuros sería necesario barajar la idea de intentar comprar la infraestructura y así no tener que pagar un “alquiler” al ayuntamiento que encarece tanto los costes. Estableciendo un precio por operación de 100 €, muy inferior al del helipuerto, realizando 82 operaciones diarias y un precio de concesión del m2 de 75 € se acabarían generando unas ganancias anuales de 863.347 € lo que repercute en un margen de ganancia del 19,8% considerando el negocio como una buena inversión.

Se estima que el coste inicial para poder en marcha el vertipuerto, con todas las características definidas, sería de en torno a 5,82 millones de euros sin tener en cuenta el precio de compra de la superficie o en su caso el coste anual de la concesión. Obteniendo en el caso más realista (82 operaciones, 100€ precio por operación) unos ingresos anuales de 4,36 millones de euros anuales. Para obtener un dato del coste inicial se ha tenido en cuenta el coste de la infraestructura (2.800.000 €), coste de construcción de la plataforma (646.000€), coste del mobiliario y de los equipos (70.000 €), coste de los cargadores (1,6 millones €), las tasa e impuestos (436.229€), costes del seguro(168.750€), los costes de personal (300.000€) y los estudios previos a la construcción del vertipuerto (209.932€). Estos números se aproximan a los indicados en la entrevista con el responsable de red y plan de negocio de Ferrovial Vertipuertos. En la entrevista se me comunicó que los numeros oscilaban entre los 4 y 20 millones de euros. En el BOE [20] se publicó el informe de impacto ambiental del proyecto “Helipuerto de Benahavís (Málaga)” y se clasifica el suelo sobre el que se construye el helipuerto como no urbanizable, por lo que hay que buscar el precio del suelo no urbanizable en Barcelona, en la página web idealista.com [21]se encuentra una parcela en el centro de Barcelona con un precio del metro cuadrado de 1.000 euros. Por lo que la adquisición del suelo sería de 7,5 millones de euros sumando un total de 13,32 millones de euros para la inversión.

CONCLUSIONES

Este trabajo nace de una necesidad, poder dar servicio a las aeronaves eVTOL que en pocos años nos transportaran por encima de nuestras casas. A lo largo del trabajo he ido aplicando muchos de los conceptos aprendidos durante los años de carrera.

Este proyecto ha sido muy exigente desde un principio, tratar un tema el cual carece de contenido es una tarea difícil, hace falta abstraerse e intentar llegar al mayor número de ideas siendo en todo momento realista, conectando conceptos y poco a poco desarrollando.

Finalmente se ha llegado a los objetivos deseados, analizar el mercado para ver si realmente la gente considera esta nueva tecnología como algo útil y necesario, localizar una ubicación dónde empezar con el proyecto, a continuación seguir punto por punto el manual de diseño y a la vez estar atento al entorno que nos rodea, muchas cosas intervienen alrededor, el último punto es ver si la idea es rentable, al final cualquier negocio para que salga adelante tiene que generar más de lo que cuesta ponerlo en funcionamiento.

Si el mercado se acaba comportando tal y como prevén los estudios y bajo las hipótesis que se han tomado en cuenta, las cuales es evidente que se tienen que refinar, la creación de la empresa AirStation sería un éxito.

Este no es un proyecto que termina aquí, si solo nos quedásemos con un vertiport el sistema fallaría, una vez se ha decidido seguir adelante con esto se tienen que seguir construyendo más a lo largo del territorio y así poder contar con una red conectada, en cada caso atendiendo a sus necesidades específicas.

Por último es importante mencionar los contratiempos con los que se ha topado el proyecto, ya que lo que ha llevado a que el estudio sea un triunfo ha sido la capacidad de enfrentarlos y superarlos. Primero de todo, el hecho de haberlo desarrollado en verano ha dificultado enormemente el contacto con empresas y una comunicación fluida, se han quedado muchas conversaciones a medias. En cuanto a los aspectos técnicos se ha tenido que diseñar la estación usando unos valores muy restrictivos, en un futuro se podría optimizar la distribución del mismo dando cabida a más aeronaves. Se ha hecho de esta manera, aun sabiendo que limitaría las operaciones, porque los fabricantes de VTOLs no han publicado los manuales técnicos de las aeronaves (AFM). Ciertas herramientas como por ejemplo SolidWorks llevaba años sin utilizarla y ha llevado su tiempo poder volver a controlar las funciones.

Para concluir, no puedo estar más contento de haber hecho una tesis sobre algo que es tan revolucionario, útil y que tanto me interesa. He aprendido muchas cosas que seguía sin conocer. Me siento bastante realizado de cerrar este bonito capítulo, como es la carrera, y dar el siguiente paso adelante quien sabe si hacia este sector tan prometedor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Booz Allen Hamilton Urban air mobility market study, 2018
- [2] Slovic, P. (1993). Perceived risk, trust, and democracy. *Risk analysis*, 13(6), 675-682.
- [3] Anania, E. C., Rice, S., Walters, N. W., Pierce, M., Winter, S. R., & Milner, M. N. (2018)
- [4] Carlson, M. S., Desai, M., Drury, J. L., Kwak, H., & Yanco, H. A. (2014). Identifying factors that influence trust. In 2014 AAAI Spring Symposium Series
- [5] Tam, A. (2011). Public perception of unmanned aerial vehicles.
- [6] AMM Reality Index <https://aamrealityindex.com>
- [7] Joby Aviation S4- eVTOL news <https://evtol.news/joby-s4>
- [8] Volocopter voloconnect - eVTOL news <https://evtol.news/volocopter>
- [9] Eve holding - eVTOL news <https://evtol.news/eve-air-mobility-eve-production-model>
- [10] Lilium Jet - eVTOL news <https://evtol.news/lilium>
- [11] Opinion No 01/2018 Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the 'open' and 'specific' categories <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/45149/en>
- [12] Proposed Special Condition for small-category VTOL Aircraft <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01%20proposed.pdf>
- [13] Drones Málaga U-Space el megaproyecto europeo para la gestión del tráfico aéreo <https://www.dronesmalaga.net/innovacion/u-space-utm-europeo/>
- [14] Récord de pasajeros el Prat-Barcelona <https://www.lavanguardia.com/vida/20200114/472889769203/aeropuerto-el-prat-barcelona-viajeros-ano-2019-balance-datos.html>
- [15] Lilium battery performance <https://lilium.com/newsroom-detail/abb-and-lilium-team-to-revolutionize-charging-infrastructure-for-regional-air-travel>
- [16] Spauditoria – Tabla de amortización <https://www.spauditoria.com/tabla-de-amortizacion>

- [17] Dr. P. Nathen, Architectural performance assessment of an electric vertical take-off and landing (e-VTOL) aircraft based on a ducted vectored thrust concept
- [18] ETKHO perspectiva actual del gasto energético hospitalario
<https://www.etkho.com/perspectiva-actual-del-gasto-energetico-hospitalario/#:~:text=El%20gasto%20energ%C3%A9tico%20hospitalario%20en%20n%C3%BAmeros&text=Un%20hospital%20puede%20consumir%20unas,d e%20euro%20por%20cada%20kWh>
- [19] Taxes and Fees Booz Allen Hamilton Urban air mobility market study, 2018
- [20] Fees and Charges at Skyports London Heliport 2022
- [21] BOE 3 diciembre 2021 informe de impacto ambiental del proyecto “Helipuerto de Benahavís (Málaga)”
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-21063
- [22] Precio suelo no urbanizable Barcelona
<https://www.idealista.com/inmueble/88681712/>