



universidad  
de león



# Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

## GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL

Trabajo de Fin de Grado

DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS PARA LA PROPULSIÓN  
ELÉCTRICA DE AVIONES,  
INVESTIGANDO LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS  
DISPONIBLES Y EVALUANDO SUS VENTAJAS E  
INCONVENIENTES.

Autor: Rubén Terrados Gutiérrez  
Tutor: M<sup>a</sup> Inmaculada González Alonso

(Septiembre, 2023)



**UNIVERSIDAD DE LEÓN**  
**Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y**  
**Aeroespacial**

**GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL**  
**Trabajo de Fin de Grado**

**ALUMNO:** Rubén Terrados Gutiérrez

**TUTOR:** M<sup>a</sup> Inmaculada González Alonso

**TÍTULO:** Desarrollo de tecnologías para la propulsión eléctrica de aviones, investigando las diferentes alternativas disponibles y evaluando sus ventajas e inconvenientes.

**TITLE:** Development of technologies for the electric propulsion of aircraft, investigating the different alternatives available and evaluating their advantages and drawbacks.

**CONVOCATORIA:** Septiembre, 2023

**RESUMEN:**

Hoy en día las nuevas políticas climáticas impulsadas por los distintos países y organismos evidencian la necesidad de una transición hacia un mundo en el que se cuide más el medio ambiente, y la electrificación de los distintos medios de transporte se presenta como una rama principal en esta transición. En el siguiente trabajo exploraremos las principales ventajas de la aviación híbrida y eléctrica, y las tecnologías imprescindibles para que estas sean posibles. Comentaremos los aspectos fundamentales de la electrificación en el mundo de la aviación y cuáles son sus principales beneficios en los diversos campos. También nos adentraremos en el marco legislativo con el objetivo de saber que procesos debe seguir una aeronave eléctrica para ser certificada en Europa y cuáles son las imposiciones a los diversos fabricantes y distribuidores. En lo relativo a las tecnologías nos centraremos en las baterías, las fuentes de alimentación y en los sistemas de carga, ya que son las más restringen el funcionamiento y diseño de los vehículos eléctricos. Para finalizar se realizará un amplio estudio de mercado en el que se buscarán diversos modelos de aeronaves eléctricas e híbridas, se comprobará a que se debe el éxito o fracaso de dichos proyectos y se analizarán las tecnologías más empleadas y las principales tendencias en los procesos de diseño.

**ABSTRACT:**

Today, the new climate policies promoted by the different countries and organizations show the need for a transition towards a world in which the environment is more cared for, and the electrification of the different means of transport is presented as a main branch in this transition. In the following work we will explore the main advantages of hybrid and electric aviation, and the essential technologies to make them possible. We will discuss the fundamental aspects of electrification in the world of aviation and what are its main benefits in various fields. We will also delve into the legislative framework with the aim of knowing what processes an electric aircraft must follow to be certified in Europe and what are the impositions on the various manufacturers and distributors. Regarding technologies, we will focus on batteries, power supplies and charging systems, since they are the most restrictive of the operation and design of electric

vehicles. Finally, an extensive market study will be carried out in which various models of electric and hybrid aircraft will be sought, it will be verified what the success or failure of these projects is due to and the most used technologies and the main trends in the design processes will be analyzed.

**Palabras clave:** Aviación eléctrica, híbrida, motor eléctrico, hidrógeno, ion-litio.

**Firma del alumno:**

**VºBº Tutor/es:**



## Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	6
Índice de figuras.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS .....	13
3. FUNDAMENTOS DE LA PROPULSIÓN ELÉCTRICA EN AVIACIÓN.....	15
3.1 MOTORES.....	15
3.2 BATERÍAS.....	16
3.3 CARGA Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA .....	16
3.4 DESAFÍOS Y LIMITACIONES.....	17
3.5 INNOVACIONES Y AVANCES .....	17
3.6 ELECTRIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE AERONAVES.....	18
3.7 CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y REGULATORIAS .....	18
3.8 PERSPECTIVA FUTURA Y ADOPCIÓN.....	18
4. BENEFICIOS POTENCIALES .....	20
4.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	20
4.2 MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA .....	20
4.3 MENOR IMPACTO ACÚSTICO .....	20
4.4 MAYOR ALCANCE.....	21
4.5 MAYOR FIABILIDAD Y MENOR MANTENIMIENTO.....	21
4.6 FLEXIBILIDAD DE DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA.....	21
4.7 DIVERSIFICACIÓN DE LAS FUNTES DE ENERGÍA .....	22
4.8 ESTÍMULO DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.....	22
4.9 IMPULSO ECONÓMICO Y CREACIÓN DE EMPLEO .....	22
4.10 IMPACTO EN LA IMAGEN DEL SECTOR .....	22
5. ALTERNATIVAS EN EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS.....	24
5.1 SISTEMAS HÍBRIDOS .....	24
5.2 AVANCES EN BATERÍAS.....	25
5.3 CELDAS DE COMBUSTIBLE.....	26
5.3.1 CELDAS DE HIDRÓGENO.....	27

5.3.2	CELDA DE ALUMINIO .....	28
5.4	SISTEMAS DE CARGA .....	30
6.	CERTIFICACIÓN SEGÚN EL MARCO REGULADORIO DE EASA .....	33
6.1	EL PAPEL DE EASA EN LA CERTIFICACIÓN Y REGULACIÓN .....	33
6.2	NORMATIVA Y ESTANDARES TÉCNICOS PARA MOTORES ELÉCTRICOS .....	33
6.3	PROCESO DE CERTIFICACIÓN .....	34
6.4	ASPECTOS ESPECÍFICOS DE SEGURIDAD .....	34
6.5	INSPECCIONES Y AUDITORIAS .....	34
6.6	COLABORACIÓN INTERNACIONAL Y ARMONIZACIÓN DE ESTÁNDARES .....	35
6.7	IMPLICACIONES PARA LOS FABRICANTES .....	35
6.8	DESAFÍOS Y PERSPECTIVA FUTURA.....	35
7.	ESTUDIO DE MERCADO .....	37
7.1	PROYECTOS CON CERTIFICACIÓN.....	37
7.2	PROYECTOS CANCELADOS .....	39
7.3	PROYECTOS EN DESARROLLO.....	41
8.	CONCLUSIONES.....	58
9.	AGRADECIMIENTOS.....	60
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
11.	ANEXOS.....	66

## Índice de figuras

Gráfico 1.1. Previsión de la evolución del mercado de vehículos eléctricos.....	11
Gráfico 1.2. Evolución del número de pasajeros de vehículos eléctricos. ....	12
Figura 5.1. Esquema de un sistema híbrido en una aeronave.....	24
Figura 5.2. Esquema de una batería de ion-litio.....	25
Gráfico 5.3. Degradación de una batería de ion-litio en función de su temperatura.....	26
Figura 5.4. Esquema de una celda de hidrógeno.....	27
Figura 5.5. Esquema de una celda de aluminio. ....	29
Figura 5.6. Sistema de carga del Velis Electro. ....	31
Figura 7.1. Avioneta Pipistrel Velis Electro.....	37
Figura 7.2. Simulación del motor Pipistrel E-811.....	38
Figura 7.3. Disposición de las baterías del Pipistrel Velis Electro. ....	38
Figura 7.4. Avioneta DigiSky SkySpark. ....	39
Figura 7.5. Motor eléctrico SICME Motori VA2-SKY 65 "Valentino".....	40
Figura 7.6. VTOL Kitty Hawk Flyer.....	41
Figura 7.7. Motor eléctrico ENGINEUS™. ....	42
Figura 7.8. Avioneta Bye Aerospace eFlyer 2. ....	42
Figura 7.9. Elektra Trainer. ....	43
Figura 7.10. Avioneta Elektra One Solar. ....	44
Figura 7.11. Avioneta Volta Volare DaVinci.....	44
Figura 7.12. china Yuneec International E430.....	45
Figura 7.13. Batería de polímero de litio.....	45
Figura 7.14. Prototipo Electra eSTOL. ....	46
Figura 7.15. Prototipo NASA X-57 "Maxwell".....	47
Figura 7.16. Prototipo Tecnam P-Volt.....	47
Figura 7.17. Prototipo Heart Aerospace ES30 imagen lateral. ....	48
Figura 7.18. Prototipo Heart Aerospace ES30 imagen frontal. ....	49
Figura 7.19. Esquema del Zunum Aero ZA10. ....	49
Figura 7.20. Motor turboeje Ardiden 3.....	49
Figura 7.21. Prototipo Faradair Bio Electric Hybrid Aircraft.....	50
Figura 7.22. Avioneta Ampaire Electric EEL.....	50
Figura 7.23. Prototipo EAG Hybrid Electric Regional Aircraft.....	51
Figura 7.24. Prototipo Wright Spirit.....	52
Figura 7.25. Motor Wright de 1MW. ....	52
Figura 7.26. Aeronave autónoma Wisk Cora.....	53
Figura 7.27. Disposición de los motores del Wisk Cora. ....	53
Figura 7.28. Prototipo Vertical Aerospace VA-X4. ....	54
Figura 7.29. Prototipo Lilium Jet.....	55
Figura 7.30. Esquema del motor eléctrico del Lilium Jet. ....	55
Figura 7.31. Prototipo Airspeeder MK4. ....	56
Figura 7.32. Exposición del Airbus/Audi Pop.Up. ....	57
Anexo 10.1. Certificado de Tipo del Pipistrel Velis Electro. ....	66

Anexo 10.2. Certificado de Tipo del motor eléctrico Pipistrel E-811-268MVL. ....67

## 1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la industria aeroespacial ha estado en constante evolución, impulsada por la búsqueda de soluciones más eficientes y sostenibles. Uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta esta industria es la reducción de las emisiones de carbono y la minimización de su impacto ambiental. En este contexto, el desarrollo de tecnologías para la propulsión eléctrica ha surgido como una alternativa prometedora y revolucionaria.

La propulsión eléctrica, que utiliza motores eléctricos en lugar de los tradicionales motores de combustión interna, se está convirtiendo en una tendencia cada vez más fuerte en la industria aeroespacial. A través de la generación y uso de energía eléctrica, estos aviones pueden lograr una mayor eficiencia energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

El desarrollo de tecnologías para la propulsión eléctrica de aviones no solo representa un cambio significativo en la forma en que nos desplazamos por el aire, sino que también tiene el potencial de transformar la industria aeroespacial en términos de sostenibilidad y eficiencia. A medida que avanzamos hacia un futuro más limpio y sostenible, el desarrollo de estas tecnologías se posiciona como una piedra angular para el logro de una aviación más respetuosa con el medio ambiente.

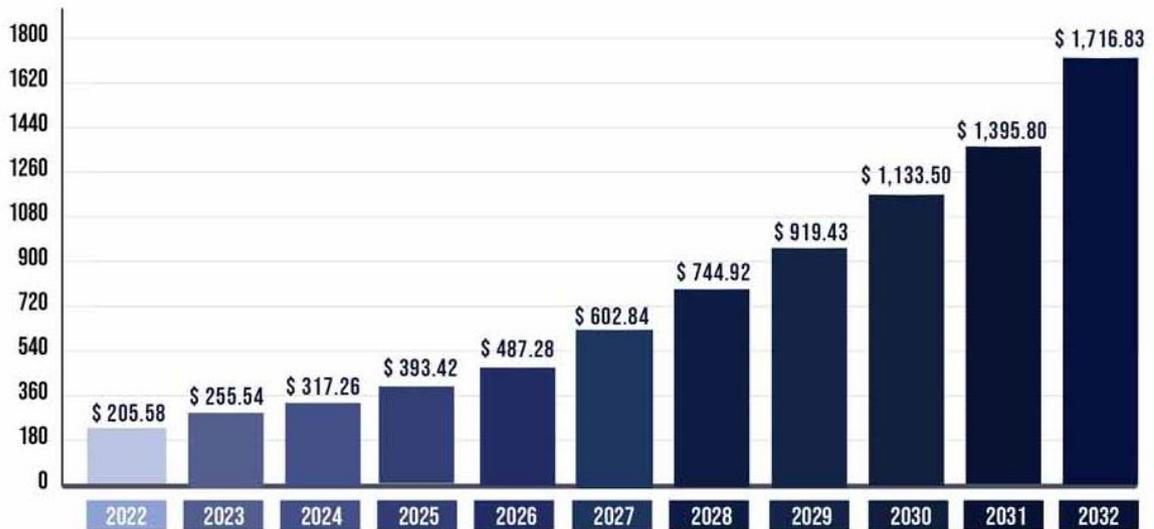


Gráfico 1.1. Previsión de la evolución del mercado de vehículos eléctricos.

(Fuente: Novaoneadvisor)

Desde el punto de vista económico, se espera una evolución exponencial del mercado de vehículos eléctricos.

Tal y como podemos ver en el gráfico anterior “Electric vehicle by market size” (2023, Presedence Research), elaborado por una empresa india y canadiense enfocada en los estudios estadísticos de mercado, se estima un crecimiento anual del 23%. Lo que situaría al sector de la movilidad eléctrica como uno de los principales mercados industriales para 2030.

También podemos ver en el siguiente estudio “Electric vehicles and power demand for transport up” (2023, Eurostat), elaborado por Eurostat, la oficina de estadística de la Unión Europea, como entre 2021 y 2022 hubo un incremento del 76% en el número de pasajeros que emplean transporte eléctrico dentro de la Unión Europea.

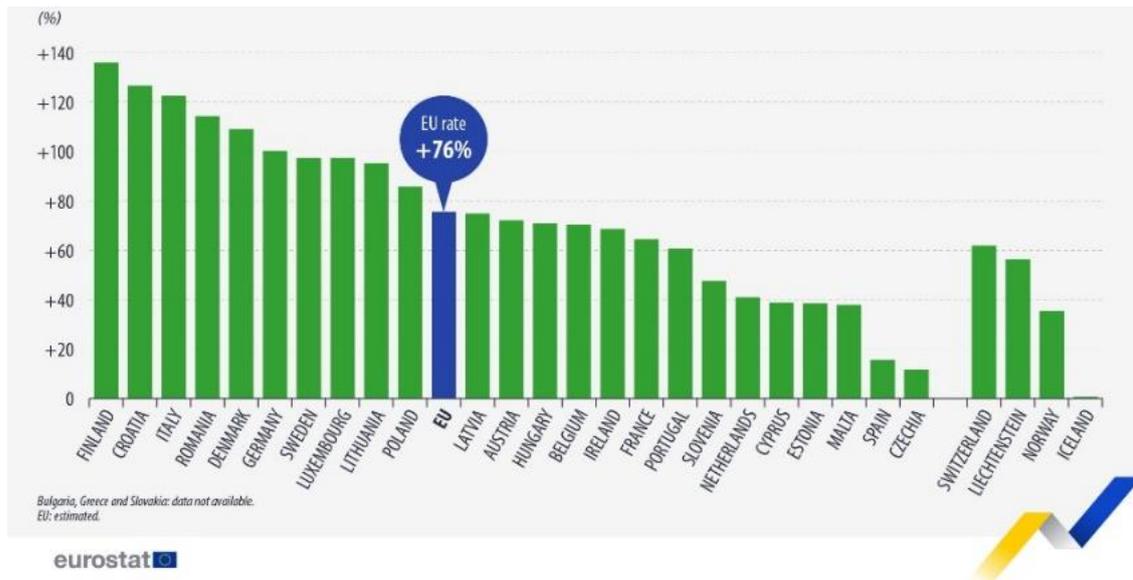


Gráfico 1.2. Evolución del número de pasajeros de vehículos eléctricos.  
(Fuente: Eurostat)

En conclusión, las tecnologías para la propulsión eléctrica en el campo de la aviación son altamente relevantes en el contexto actual de la industria aeroespacial y se alinean con la tendencia que sigue actualmente el sector del transporte, en el cual la movilidad eléctrica supone una gran oportunidad de mercado a corto y medio plazo. Este tipo de tecnologías también ofrecen una respuesta a los desafíos ambientales, mejoran la eficiencia energética, impulsan la innovación en diseño y rendimiento, y tienen el potencial de reducir los costos operativos. A medida que la tecnología continúa avanzando y las barreras se superan, es probable que veamos un mayor enfoque en el desarrollo y la implementación de aviones eléctricos en los próximos años.

## 2. OBJETIVOS

Una vez explicado el porqué del tema seleccionado para el trabajo, es hora de destacar los objetivos que se pretenden abordar mediante la realización de este:

- **Investigar las diferentes alternativas disponibles en el desarrollo de tecnologías para la propulsión eléctrica de aviones:** El objetivo principal de este estudio es llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre las diversas alternativas tecnológicas que existen en la actualidad para la propulsión eléctrica de aviones, lo cual implica investigar las diferentes opciones de motores eléctricos, sistemas de almacenamiento de energía, tecnologías de carga y distribución de electricidad, así como otros componentes clave involucrados en la propulsión eléctrica.
- **Evaluar las ventajas e inconvenientes de las tecnologías de propulsión eléctrica de aviones:** Se busca realizar una evaluación detallada de las ventajas y desventajas asociadas con las tecnologías de propulsión eléctrica en aviación. Esto incluye analizar aspectos como la eficiencia energética, la reducción de emisiones de carbono, la autonomía de vuelo, la densidad de energía de las baterías, los tiempos de recarga, la infraestructura requerida, los costos asociados y los desafíos técnicos que pueden surgir.
- **Comparar y contrastar las alternativas tecnológicas:** Se pretende realizar una comparación exhaustiva de las diferentes alternativas tecnológicas identificadas. Esto implica analizar sus fortalezas y debilidades en términos de rendimiento, eficiencia, sostenibilidad, viabilidad comercial y capacidad de adaptación a las necesidades de la aviación moderna. Además, se buscará identificar las aplicaciones y casos de uso más adecuados para cada tecnología.
- **Identificar oportunidades y desafíos futuros:** A partir de la investigación y evaluación realizada, se buscará identificar las oportunidades y desafíos clave para el desarrollo y la adopción de tecnologías de propulsión eléctrica el futuro, incluyendo aspectos como la necesidad de avances tecnológicos, la infraestructura de carga, la regulación y las políticas gubernamentales.

Al alcanzar estos objetivos, se espera obtener una visión clara y completa de las alternativas tecnológicas disponibles para la propulsión eléctrica, así como una comprensión de sus ventajas e inconvenientes. Esto proporcionará una base sólida para futuras investigaciones y para el desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles en la industria aeroespacial.

### **3. FUNDAMENTOS DE LA PROPULSIÓN ELÉCTRICA EN AVIACIÓN**

La propulsión eléctrica se ha convertido en un tema de creciente interés en la industria del transporte debido a su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética. En particular, la electrificación de la aviación ha captado la atención de investigadores, ingenieros y expertos en la búsqueda de soluciones más sostenibles en el campo de la aeronáutica.

La electrificación de la aviación implica el uso de motores eléctricos en lugar de los motores de combustión interna convencionales que funcionan con combustibles fósiles. Estos motores eléctricos convierten la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo así el movimiento de la aeronave. Esta transición representa un cambio significativo en la forma en que se propulsa una aeronave y conlleva una serie de beneficios y desafíos.

#### **3.1 MOTORES**

Los motores eléctricos son una parte fundamental de los sistemas de propulsión eléctrica y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones aeroespaciales. Estos motores son más ligeros, compactos y eficientes en comparación con los motores de combustión interna tradicionales.

Existen dos tipos principales de motores eléctricos utilizados en la propulsión aeronáutica: motores de corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (AC). Los motores de corriente continua son ampliamente utilizados debido a su simplicidad y su capacidad para proporcionar un alto par motor a bajas velocidades. Por otro lado, los motores de corriente alterna son más adecuados para velocidades de vuelo más altas y ofrecen una mayor eficiencia en términos de consumo de energía.

## 3.2 BATERÍAS

Las baterías son componentes clave en los sistemas de propulsión eléctrica, ya que almacenan y suministran la energía eléctrica necesaria para alimentar los motores. En el contexto de la electrificación de la aviación, las baterías de iones de litio son las más comunes debido a su alta densidad de energía y capacidad para almacenar grandes cantidades de energía en un espacio reducido. “La atención por el litio se debe a que, se le considera como un ingrediente clave para la construcción de baterías para vehículos eléctricos, el mundo ahora está invirtiendo miles de millones de dólares en el futuro del litio, se estima que las ventas de baterías de litio para automóviles experimentarán un salto de \$US 100 millones anuales a 103 mil millones al año en las próximas dos décadas” (Latina, A. El futuro de la aviación eléctrica y el litio).

Las baterías utilizadas en la aviación deben cumplir con requisitos rigurosos de seguridad, rendimiento y peso. Deben ser lo suficientemente ligeras para no afectar significativamente la carga útil de la aeronave, al mismo tiempo que proporcionan la energía necesaria para los motores eléctricos durante el vuelo.

## 3.3 CARGA Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La carga y la gestión eficiente de la energía son aspectos críticos en los sistemas de propulsión eléctrica. Para garantizar un funcionamiento óptimo, se requiere una infraestructura de carga adecuada que permita recargar las baterías de manera rápida y eficiente. Además, se necesitan sistemas de gestión de energía inteligentes que supervisen y controlen el flujo de energía entre las baterías, los motores y otros sistemas a bordo de la aeronave.

La carga de las baterías puede realizarse en tierra, en estaciones de carga especializadas ubicadas en aeropuertos o bases de operaciones. También se están desarrollando tecnologías para la recarga en vuelo, lo que permitiría un uso más eficiente de la energía durante los vuelos de larga distancia.

### 3.4 DESAFÍOS Y LIMITACIONES

A pesar de sus beneficios, la propulsión eléctrica en la aviación también enfrenta desafíos y limitaciones importantes. Uno de los principales desafíos es la capacidad de las baterías para almacenar y suministrar la energía necesaria para vuelos de larga distancia. Actualmente, la densidad de energía de las baterías de iones de litio limita el alcance y la duración de los vuelos eléctricos.

Otro desafío es la infraestructura de carga. Se requiere una red de estaciones de carga rápida y eficiente para abastecer de energía a las aeronaves eléctricas. Además, la capacidad de carga y el tiempo de recarga deben mejorarse para permitir una operación más eficiente y rentable.

### 3.5 INNOVACIONES Y AVANCES

La investigación y el desarrollo en el campo de la propulsión eléctrica están en constante evolución, y se están realizando importantes avances para superar los desafíos mencionados anteriormente. Los investigadores están trabajando en el desarrollo de baterías con mayor densidad de energía, lo que permitiría un mayor alcance y duración de vuelo. También se están explorando tecnologías de baterías avanzadas, como las baterías de estado sólido, que podrían superar las limitaciones actuales.

Además, se están investigando nuevas configuraciones de motores eléctricos y sistemas de gestión de energía más eficientes. Esto incluye el uso de sistemas híbridos que combinan motores eléctricos y motores de combustión interna, lo que proporciona una mayor flexibilidad y autonomía. Hoy en día los costes derivados de la construcción de infraestructuras necesarias para este tipo de aviación, su producción en masa y la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, supera en gran cantidad a los costes generados por la aviación convencional. Sin embargo, a medida que se vaya avanzando, se pueden lograr costes similares e incluso inferiores. Estos costes pueden ser inferiores ya que la aviación eléctrica cuenta con componentes de más sencillo mantenimiento y infraestructuras de repostaje de menor envergadura.

### **3.6 ELECTRIFICACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE AERONAVES**

La electrificación de la aviación no se limita solo a las aeronaves comerciales. También se están llevando a cabo esfuerzos para electrificar otros tipos de aeronaves, como aviones de carga, aviones de entrenamiento, aviones privados y los destinados a uso militar. Cada uno de estos segmentos tiene requisitos específicos y desafíos técnicos que deben abordarse.

En el caso de los aviones de carga, la electrificación puede ofrecer beneficios en términos de eficiencia de combustible y reducción de costos operativos. Los aviones de entrenamiento eléctricos pueden ser una opción más económica y sostenible para la formación de pilotos. Y los aviones de privados eléctricos pueden ofrecer vuelos más silenciosos y eficientes para viajes corporativos.

### **3.7 CONSIDERACIONES AMBIENTALES Y REGULATORIAS**

La electrificación de la aviación plantea también ciertos aspectos ambientales y regulatorios. A medida que la tecnología avanza y se adopta en mayor medida, los organismos reguladores deberán establecer normativas y estándares para garantizar la seguridad y la operación eficiente de las aeronaves eléctricas.

Además, se deben tener en cuenta los impactos ambientales de la producción y el reciclaje de las baterías, así como la gestión adecuada de los desechos. Es importante evaluar y minimizar los posibles impactos negativos asociados con la cadena de suministro de los materiales utilizados en las baterías y otros componentes de los sistemas de propulsión eléctrica.

### **3.8 PERSPECTIVA FUTURA Y ADOPCIÓN**

A pesar de los desafíos y limitaciones, la electrificación de la aviación tiene un gran potencial para transformar la industria aeroespacial hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia. Se espera que la adopción de sistemas de propulsión

eléctrica en la aviación aumente gradualmente en los próximos años, especialmente en aplicaciones de corto y medio alcance.

La colaboración entre la industria, los investigadores y los gobiernos es crucial para acelerar el desarrollo y la implementación de la propulsión eléctrica en la aviación. Se necesitan inversiones en investigación y desarrollo, así como en infraestructura de carga, para impulsar la adopción de esta tecnología.

## **4. BENEFICIOS POTENCIALES**

Tras haber comentado en el apartado anterior los aspectos fundamentales de este tipo de aviación, ahora nos centraremos en los principales beneficios que esta nos aporta:

### **4.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES**

Uno de los beneficios clave de la propulsión eléctrica en la aviación es la reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los aviones propulsados por motores eléctricos no emiten CO<sub>2</sub> ni otros contaminantes perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Al eliminar las emisiones directas, la aviación eléctrica puede contribuir a la mitigación del cambio climático y ayudar a mejorar la calidad del aire en las zonas cercanas a los aeropuertos y las rutas de vuelo.

### **4.2 MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La propulsión eléctrica también ofrece el beneficio de una mayor eficiencia energética en comparación con los motores de combustión interna utilizados en las aeronaves convencionales. Los motores eléctricos son inherentemente más eficientes, ya que convierten la energía eléctrica en energía mecánica con menos pérdidas en forma de calor. Esto se traduce en un mejor uso de la energía y un menor consumo de combustible, lo que a su vez reduce los costos operativos y las emisiones asociadas.

### **4.3 MENOR IMPACTO ACÚSTICO**

Otro beneficio de la propulsión eléctrica en la aviación es la reducción del impacto acústico. Los motores de combustión interna son conocidos por generar altos niveles de ruido, especialmente durante el despegue y el aterrizaje. Los motores eléctricos, en cambio, son considerablemente más silenciosos, lo que mejora la experiencia de vuelo y reduce las molestias para las comunidades cercanas a los

aeropuertos. Esta reducción del ruido puede abrir la puerta a la ampliación de horarios de vuelo y el uso de aeropuertos en áreas urbanas densamente pobladas.

#### **4.4 MAYOR ALCANCE**

La propulsión eléctrica también tiene el potencial de aumentar considerablemente el alcance de las aeronaves. A medida que la tecnología de las baterías mejora, se espera que las aeronaves eléctricas puedan volar distancias más largas sin necesidad de recargar. Esto no solo ampliaría las opciones de rutas y destinos, sino que también podría reducir la dependencia de los combustibles fósiles y permitir vuelos más sostenibles y eficientes.

#### **4.5 MAYOR FIABILIDAD Y MENOR MANTENIMIENTO**

Los motores eléctricos tienden a ser más fiables y requieren menos mantenimiento en comparación con los motores de combustión interna. Esto se debe a que los motores eléctricos tienen menos piezas móviles y no están sujetos a los mismos desgastes y problemas asociados con la combustión de combustibles fósiles. La mayor fiabilidad y el menor mantenimiento resultan en menores costos operativos y una mayor disponibilidad de las aeronaves para el servicio.

#### **4.6 FLEXIBILIDAD DE DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA**

La propulsión eléctrica ofrece una mayor flexibilidad de diseño en las aeronaves. Los motores eléctricos son más compactos y livianos en comparación con los motores de combustión interna, lo que permite una distribución más eficiente de la energía y una mayor libertad en el diseño aerodinámico de las aeronaves. Además, los motores eléctricos pueden ubicarse de manera más flexible en la aeronave, lo que permite una mejor distribución del empuje y un control más preciso durante el vuelo.

## **4.7 DIVERSIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA**

La propulsión eléctrica también permite la diversificación de las fuentes de energía utilizadas en la aviación. A medida que se desarrollan soluciones de carga eléctrica más eficientes y se amplía la infraestructura de carga, es posible utilizar una combinación de energía renovable y convencional para alimentar las aeronaves eléctricas. Esto reduce la dependencia de los combustibles fósiles y promueve la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias.

## **4.8 ESTÍMULO DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

La adopción de la propulsión eléctrica en la aviación también estimula la innovación tecnológica. A medida que la industria se aleja de los motores de combustión interna, se requiere una mayor investigación y desarrollo en tecnologías relacionadas con las baterías, la gestión energética, la carga rápida y el almacenamiento de energía. Estos avances no solo beneficiarán a la aviación, sino que también pueden tener aplicaciones en otros sectores, impulsando el desarrollo tecnológico y promoviendo la sostenibilidad en general.

## **4.9 IMPULSO ECONÓMICO Y CREACIÓN DE EMPLEO**

La transición eléctrica en la aviación también puede generar beneficios económicos significativos. La adopción de esta tecnología fomenta la creación de empleo en áreas como la fabricación de baterías, la producción de componentes eléctricos y el desarrollo de sistemas de gestión energética. Además, la producción y el mantenimiento de las aeronaves eléctricas puede impulsar la economía local y regional, creando nuevas oportunidades de negocio y contribuyendo al crecimiento económico sostenible.

## **4.10 IMPACTO EN LA IMAGEN DEL SECTOR**

A medida que el público se preocupa cada vez más por el medio ambiente y busca opciones de viaje más sostenibles, la adopción de la propulsión eléctrica

puede ayudar a la industria de la aviación a mejorar su reputación y atraer a un segmento de clientes más conscientes del medio ambiente. Esto puede resultar en un aumento de la demanda de vuelos eléctricos y en un posicionamiento favorable en el mercado global.

En conclusión, la propulsión eléctrica ofrece una serie de beneficios significativos al sector de la aviación. Desde la reducción de emisiones y la mejora de la eficiencia energética hasta la menor dependencia de los combustibles fósiles y la estimulación de la innovación tecnológica, la propulsión eléctrica tiene el potencial de impulsar la industria de la aviación hacia un futuro más sostenible y eficiente. A medida que la tecnología avanza y se superan las barreras técnicas y logísticas, es probable que veamos un aumento en la adopción de la propulsión eléctrica, allanando el camino hacia una aviación más limpia y responsable.

## 5. ALTERNATIVAS EN EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS

A continuación, exploraremos diferentes enfoques tecnológicos para la propulsión eléctrica en el ámbito de la aviación, centrándonos en sistemas híbridos, los avances en el desarrollo de baterías, las celdas de combustible y los sistemas de carga. Analizaremos cada uno de estos enfoques, su funcionamiento, componentes clave y su aplicación en la aviación.

### 5.1 SISTEMAS HÍBRIDOS

Los sistemas híbridos en la propulsión eléctrica de la aviación combinan tanto motores eléctricos como motores de combustión interna. Estos sistemas aprovechan las ventajas de ambos enfoques para lograr mayor eficiencia y autonomía. Los componentes clave de un sistema híbrido incluyen motores eléctricos, motores de combustión interna, baterías y sistemas de gestión de energía.

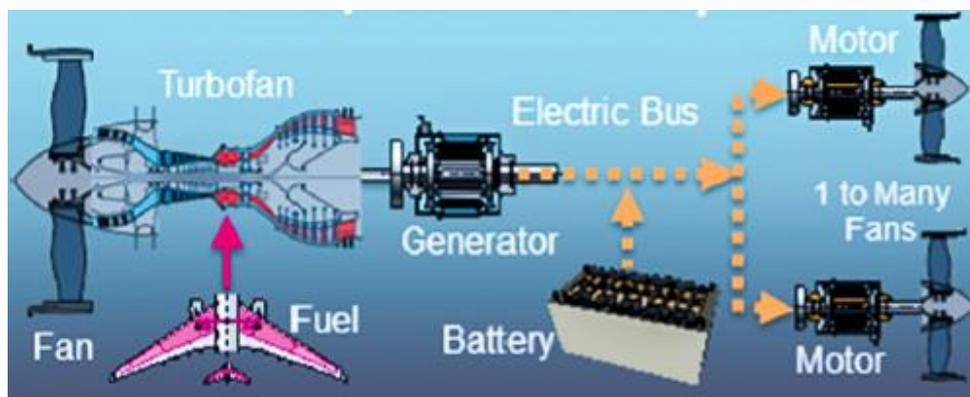


Figura 5.1. Esquema de un sistema híbrido en una aeronave.

(Fuente: Glenn Research Center)

Los sistemas híbridos en la aviación se utilizan en una variedad de aplicaciones. Los aviones de entrenamiento a menudo adoptan sistemas híbridos para reducir las emisiones y los costos operativos. Los aviones no tripulados también pueden beneficiarse de la propulsión híbrida, ya que brinda mayor autonomía y flexibilidad

operativa. Además, los aviones regionales de corto alcance pueden emplear sistemas híbridos para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

## 5.2 AVANCES EN BATERÍAS

En comparación con las baterías convencionales, las baterías más avanzadas ofrecen una mayor densidad de energía y capacidad de almacenamiento. Algunos tipos de baterías avanzadas utilizadas en la aviación son las baterías de ion-litio y las baterías de estado sólido. Estas baterías se componen de celdas individuales que contienen materiales activos y electrolitos.

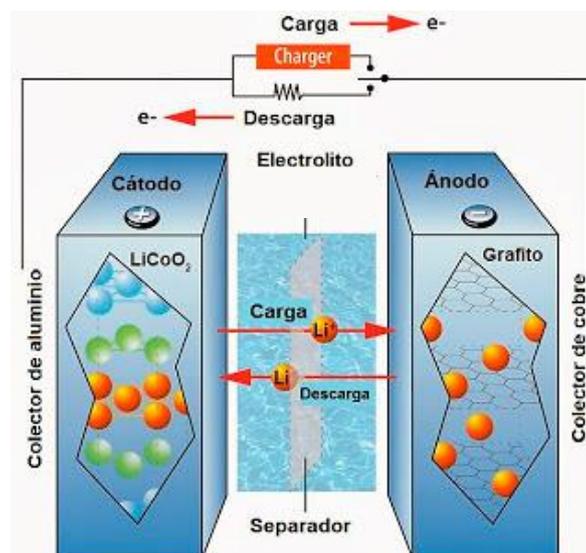


Figura 5.2. Esquema de una batería de ion-litio. (Fuente: Cdecomunicacion)

Debido a sus prestaciones, las baterías de ion-litio son las más usadas en el desarrollo de aeronaves eléctricas, sin embargo, estas tienen un gran inconveniente, la degradación que sufren como consecuencia de los constantes ciclos de carga y descarga. Durante estos procesos los electrodos se van desgastando, se forman subproductos no deseados como consecuencia de las reacciones químicas que ocurren en el interior de las baterías, y se puede llegar a aparecer dendritas, delgados filamentos delgados que se forman en los

electrodos y ocasionan cortocircuitos. Hoy en día se siguen buscando formas de mitigar este efecto ya que supone un importante gasto de mantenimiento, se sabe que la potencia de carga y la temperatura de carga son dos de los principales factores que influyen en la degradación.

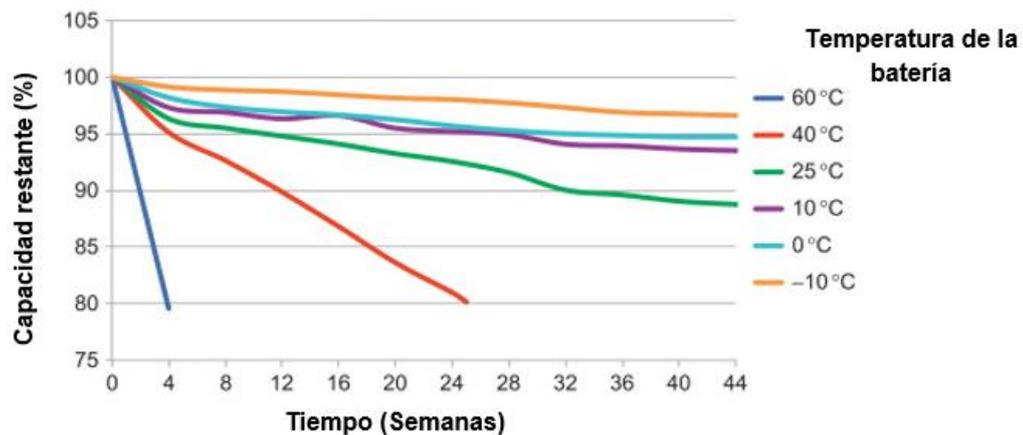


Gráfico 5.3. Degradación de una batería de ion-litio en función de su temperatura.  
(Fuente: Sciencedirect)

Este tipo de baterías se usan especialmente en aviones eléctricos de pequeño tamaño y vehículos aéreos no tripulados de larga duración de vuelo. Estas baterías permiten una mayor autonomía y menor dependencia de los combustibles fósiles. Los aviones eléctricos de pequeño tamaño, como los aviones de entrenamiento y los aviones de uso personal, pueden aprovechar estas baterías para reducir los costos de operación y disminuir el impacto ambiental.

### 5.3 CELDAS DE COMBUSTIBLE

Las celdas de combustible son otra alternativa tecnológica para la propulsión eléctrica en la aviación, ofrecen una alta eficiencia y una mayor autonomía en comparación con las baterías. A diferencia de las baterías, las celdas de combustible no almacenan energía, sino que la convierten a medida que se van consumiendo los reactivos. Los aviones eléctricos de mayor envergadura, como

aviones comerciales o de carga, pueden utilizar celdas de combustible para lograr una mayor eficiencia y reducir las emisiones de gases contaminantes. Algunos tipos de celdas de combustible utilizadas en la aviación son las celdas de combustible de hidrógeno y las celdas de combustible de aluminio.

### 5.3.1 CELDAS DE HIDRÓGENO

Las celdas de hidrógeno, también conocidas como pilas de combustible, son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química del hidrógeno y el oxígeno en electricidad y calor de manera eficiente y limpia. Estas celdas ofrecen una alternativa prometedora a los combustibles fósiles en la generación de energía, especialmente en aplicaciones de movilidad y electrificación.

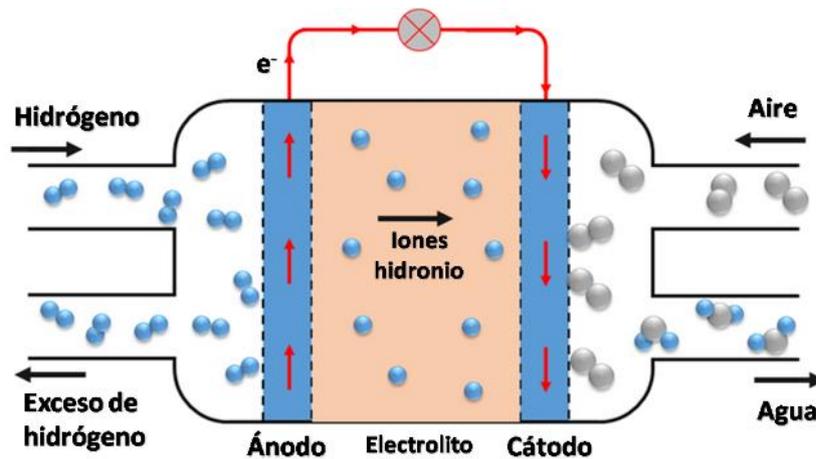


Figura 5.4. Esquema de una celda de hidrógeno. (Fuente: Hive Blog)

El principio básico de funcionamiento de una celda de hidrógeno implica la separación de los protones y los electrones en el hidrógeno mediante un catalizador. El hidrógeno ingresa al ánodo de la celda, donde se divide en protones y electrones. Los protones atraviesan una membrana de intercambio de protones (MEP) hacia el cátodo, mientras que los electrones viajan por un circuito externo, generando electricidad.

Una de las principales ventajas de las celdas de hidrógeno es su alta eficiencia en la conversión de energía. A diferencia de los motores de combustión interna, que

tienen una eficiencia limitada, las celdas de hidrógeno pueden alcanzar eficiencias superiores al 50% en la conversión de energía química en electricidad. Además, las celdas de hidrógeno no emiten gases de efecto invernadero ni contaminantes atmosféricos, lo que las convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente.

Las aplicaciones de las celdas de hidrógeno son diversas y abarcan varios sectores. En el sector del transporte, las celdas de hidrógeno se utilizan en vehículos de células de combustible (FCEV), donde el hidrógeno se combina con el oxígeno del aire para generar electricidad y propulsar el vehículo. Los FCEV ofrecen una mayor autonomía y un tiempo de recarga más rápido en comparación con los vehículos eléctricos con batería, lo que los hace adecuados para aplicaciones de largo alcance.

Otra área de aplicación de las celdas de hidrógeno es la generación de energía estacionaria. En este caso, las celdas de hidrógeno se utilizan para alimentar edificios, comunidades e incluso redes eléctricas enteras. La generación de energía a partir de hidrógeno puede integrarse con fuentes renovables, como la energía solar o eólica, para proporcionar una fuente de energía continua y sostenible.

Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas, las celdas de hidrógeno todavía enfrentan desafíos en términos de costo y disponibilidad de hidrógeno. La producción y el suministro de hidrógeno verde, obtenido a través de la electrólisis del agua utilizando energía renovable, aún se están desarrollando y enfrentan desafíos económicos y logísticos. Además, la infraestructura de abastecimiento de hidrógeno es limitada en comparación con la red de estaciones de carga para vehículos eléctricos.

### **5.3.2 CELDAS DE ALUMINIO**

Las celdas de aluminio, también conocidas como baterías de aluminio-aire, son dispositivos electroquímicos que aprovechan la reacción entre el aluminio y el oxígeno para generar electricidad de manera eficiente y sostenible. Estas celdas son una alternativa interesante a las baterías convencionales, ya que el aluminio

es un material abundante, ligero y altamente reactivo, lo que permite una mayor capacidad de energía y una mayor densidad de energía.

El principio de funcionamiento de las celdas de aluminio se basa en la oxidación del aluminio en el ánodo y la reducción del oxígeno en el cátodo. En el ánodo, el aluminio metálico reacciona con el hidróxido de potasio (KOH) presente en el electrolito, liberando electrones y formando iones de aluminio en solución. Estos electrones viajan a través de un circuito externo, generando electricidad utilizable. En el cátodo, el oxígeno del aire se reduce en presencia del agua y los iones de hidróxido para formar hidróxido de potasio.

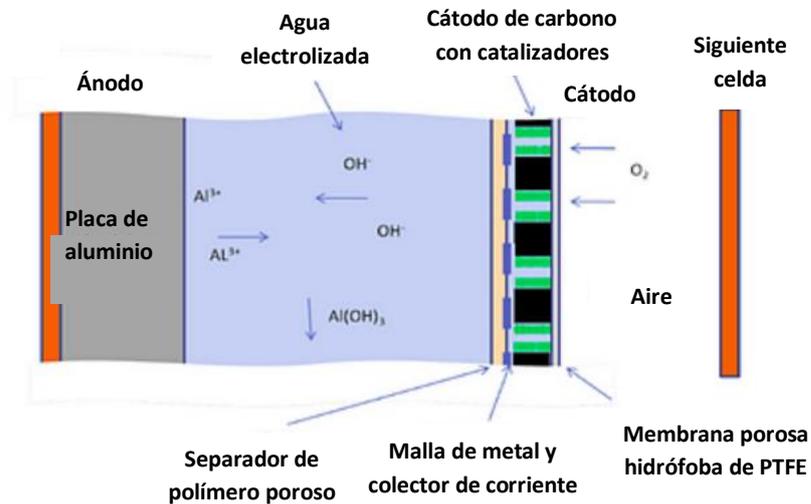


Figura 5.5. Esquema de una celda de aluminio. (Fuente: E-VehicleInfo)

Una de las principales ventajas de las celdas de aluminio es su alta densidad de energía. Debido a la alta reactividad del aluminio y la abundancia de oxígeno disponible en el aire, estas celdas pueden almacenar una gran cantidad de energía en comparación con las baterías convencionales. Esto las hace adecuadas para aplicaciones que requieren una alta densidad de energía, como vehículos eléctricos y dispositivos portátiles.

Las celdas de aluminio ofrecen otras ventajas significativas en comparación con las baterías tradicionales. En primer lugar, el aluminio es un material abundante y

ampliamente disponible en la corteza terrestre, lo que hace que las celdas de aluminio sean una opción económica y sostenible. Además, el aluminio es un metal ligero, lo que reduce el peso total de las celdas y permite una mayor eficiencia en aplicaciones móviles.

Otra ventaja importante de las celdas de aluminio es su capacidad para ser recargadas. A diferencia de las baterías de un solo uso, las celdas de aluminio pueden recargarse mediante el reemplazo del aluminio consumido en el ánodo. Esto las hace especialmente atractivas en aplicaciones donde la recarga rápida y la larga vida útil son importantes, como en la industria automotriz.

Sin embargo, las celdas de aluminio también presentan desafíos. Uno de los principales desafíos es el agotamiento del aluminio, ya que el metal se consume durante la reacción electroquímica. Esto requiere un suministro constante de aluminio fresco para mantener la operación de las celdas. Además, la producción de aluminio a partir de bauxita, su principal mineral de origen requiere una gran cantidad de energía y puede generar emisiones de gases de efecto invernadero.

## **5.4 SISTEMAS DE CARGA**

Los aviones eléctricos requieren sistemas de carga específicos para abastecer sus baterías y permitir su funcionamiento. Estos sistemas de carga se utilizan para cargar las baterías antes de cada vuelo o durante las operaciones de mantenimiento en tierra. Podemos considerar tres sistemas de carga principales, los cargadores de pared o convencionales, utilizados generalmente para cargar aviones eléctricos más pequeños o de uso personal y que proporcionan una carga lenta y suelen ser adecuados para operaciones de menor escala. Las estaciones de carga, instalaciones específicas diseñadas para proporcionar una carga rápida y eficiente. Estas suelen estar ubicadas en aeropuertos o lugares estratégicos y están equipadas con sistemas de carga de alta potencia y capacidad para atender múltiples aviones simultáneamente. Y, por último, los sistemas de carga integrados en el propio avión, los cuales se encargan de regenerar la energía de las baterías gracias a la propia energía potencial de la aeronave. De esta forma

es posible lograr un vuelo con gasto neutro que no requiera carga en tierra entre las distintas operaciones de vuelo.



Figura 5.6. Sistema de carga del Velis Electro. (Fuente: Híbridosyelectricos)

Es importante destacar que los sistemas de carga deben cumplir con los estándares de seguridad y compatibilidad correspondientes para garantizar una carga segura y confiable. Además, es necesario contar con infraestructuras acordes al tipo de aeronave o la cantidad de aeronaves que se vayan a recargar, y a las características del sistema de carga que se vaya a emplear, ya que cada uno necesita sus respectivos sistemas de protección y prevención.

Para finalizar procederemos a realizar un análisis comparativo de los diferentes enfoques tecnológicos mencionados, evaluando aspectos como la eficiencia, autonomía, capacidad de carga, escalabilidad y costos.

En términos de eficiencia, las celdas de combustible tienen una alta eficiencia energética debido a la conversión directa de combustible en electricidad. Las baterías avanzadas también ofrecen una eficiencia razonable, mientras que los sistemas híbridos dependen de la eficiencia de sus componentes individuales.

En cuanto a la autonomía, las celdas de combustible son superiores, llegando a ser el doble en las celdas de hidrógeno, debido a su alta densidad de energía y la posibilidad de recargar combustible rápidamente. Las baterías avanzadas también han mejorado su autonomía en los últimos años, pero aún enfrentan desafíos en términos de densidad energética y tiempos de recarga.

La capacidad de carga es importante en la aviación, especialmente para vuelos comerciales. Los sistemas híbridos y las celdas de combustible tienen la ventaja de generar energía adicional durante el vuelo, lo que permite una mayor capacidad de carga y una mayor flexibilidad operativa.

La escalabilidad es otro factor clave. Las baterías avanzadas y las celdas de combustible son tecnologías escalables, lo que significa que pueden adaptarse a diferentes tamaños de aeronaves. Los sistemas híbridos también son escalables, pero pueden ser más adecuados para aviones de menor tamaño.

En términos de costos, las baterías avanzadas actualmente son más económicas en comparación con las celdas de combustible. Sin embargo, se espera que los costos de las celdas de combustible disminuyan en el futuro a medida que la tecnología se desarrolle y se adopte a mayor escala.

En conclusión, cada alternativa tiene sus propias fortalezas y desafíos, y la elección adecuada dependerá de las necesidades y características específicas de cada aplicación.

## **6. CERTIFICACIÓN SEGÚN EL MARCO REGULATORIO DE EASA**

A medida que las aeronaves eléctricas y los sistemas de propulsión híbridos ganan terreno, surge la necesidad de un marco regulatorio sólido que garantice la seguridad, la fiabilidad y el rendimiento de los motores eléctricos utilizados en estas aeronaves. En este documento, analizaremos en detalle el marco regulatorio establecido por la Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA, por sus siglas en inglés) para los motores eléctricos en la aviación.

### **6.1 EL PAPEL DE EASA EN LA CERTIFICACIÓN Y REGULACIÓN**

EASA es la agencia de la Unión Europea responsable de la seguridad en la aviación. Su objetivo principal es establecer normas y regulaciones que garanticen la seguridad y la eficiencia de las aeronaves en Europa. En el contexto de los motores eléctricos, EASA tiene la responsabilidad de desarrollar y aplicar un marco regulatorio adecuado para asegurar la transición segura hacia la electrificación en la aviación.

### **6.2 NORMATIVA Y ESTANDARES TÉCNICOS PARA MOTORES ELÉCTRICOS**

El marco regulatorio de EASA se basa en una serie de normativas y estándares técnicos específicos. Estas normativas y estándares se han desarrollado para garantizar que los motores eléctricos cumplan con los requisitos de seguridad, rendimiento y confiabilidad necesarios para su aplicación en la aviación. Algunos de los aspectos clave cubiertos por estas normativas incluyen la certificación de tipo, la seguridad de los sistemas eléctricos y el cumplimiento de los requisitos de emisiones y eficiencia energética.

### **6.3 PROCESO DE CERTIFICACIÓN**

El proceso de certificación de motores eléctricos e híbridos establecido por EASA es riguroso y exhaustivo, y se basa en una Special Condition “SC E-19 - Electric / Hybrid Propulsion System” (2020, EASA). Comienza con la evaluación del diseño del motor, donde se examinan aspectos como los materiales utilizados, la estructura mecánica y las características de rendimiento. A continuación, se lleva a cabo un análisis de seguridad y gestión de riesgos para identificar y mitigar posibles fallos y situaciones de peligro. Además, se realizan pruebas de laboratorio y pruebas de vuelo para validar el rendimiento y la confiabilidad del motor eléctrico en diferentes condiciones de operación.

### **6.4 ASPECTOS ESPECÍFICOS DE SEGURIDAD**

Se establecen requisitos específicos para prevenir incendios y proteger contra cortocircuitos en los motores eléctricos. Además, se establecen pautas para el manejo seguro de baterías y sistemas de almacenamiento de energía, evitando riesgos de sobrecalentamiento y fallos. Estos aspectos de seguridad son fundamentales para garantizar la confiabilidad de los motores eléctricos y la seguridad de las operaciones aéreas.

### **6.5 INSPECCIONES Y AUDITORIAS**

EASA realiza inspecciones y auditorías regulares según el Reglamento de Ejecución de la Comisión “Regulation (EU) No 628/2013” (2013, EASA), para verificar el cumplimiento normativo de los fabricantes de motores eléctricos. Estas inspecciones y auditorías se llevan a cabo para evaluar la conformidad continua de los motores eléctricos con los estándares y regulaciones establecidos. En caso de incumplimiento, se toman acciones correctivas para garantizar que los fabricantes cumplan con los requisitos exigidos y mantengan altos niveles de seguridad y calidad.

## **6.6 COLABORACIÓN INTERNACIONAL Y ARMONIZACIÓN DE ESTÁNDARES**

La colaboración internacional es fundamental, EASA trabaja en estrecha colaboración con otras agencias reguladoras y organismos internacionales para armonizar los estándares y regulaciones a nivel global. Esta colaboración permite una mayor eficiencia y consistencia en la certificación y regulación de los motores eléctricos, facilitando así la interoperabilidad y el intercambio de conocimientos entre los diferentes actores de la industria a nivel internacional.

## **6.7 IMPLICACIONES PARA LOS FABRICANTES**

EASA impone requisitos y responsabilidades específicas a los fabricantes de motores eléctricos. Estos fabricantes deben cumplir con una serie de estándares y regulaciones, presentar documentación técnica detallada y obtener la certificación de tipo para sus motores eléctricos. Además, deben mantener registros exhaustivos y cumplir continuamente con los requisitos normativos para garantizar la calidad y la seguridad de sus productos. Para facilitar la certificación de este tipo de motores, EASA ha abierto una línea de colaboración directa con los distintos fabricantes, de manera que puedan ir realizando consultas y correcciones a medida que avanzan en el proceso de diseño.

## **6.8 DESAFÍOS Y PERSPECTIVA FUTURA**

A medida que la tecnología eléctrica avanza rápidamente, es necesario adaptar y actualizar el marco regulatorio para abordar nuevos desafíos y aprovechar plenamente las ventajas de los motores eléctricos en términos de sostenibilidad y eficiencia. La integración de motores eléctricos en diferentes tipos de aeronaves y la evolución de los estándares internacionales son aspectos clave que deben considerarse en el desarrollo continuo del marco regulatorio.

Tal y como hemos podido comprobar, el marco regulatorio establecido por EASA para motores eléctricos desempeña un papel crucial en garantizar la seguridad, la

fiabilidad y el rendimiento de estas tecnologías emergentes. A través de normativas, estándares técnicos, procesos de certificación rigurosos y colaboración internacional, se sientan las bases para una transición segura hacia una aviación más sostenible y eficiente. El marco regulatorio evolucionará y se adaptará para abordar los desafíos y las oportunidades futuras, respaldando así la transformación de la industria hacia un futuro más limpio y sostenible. Hoy en día la única aeronave completamente eléctrica que cuenta con el Certificado de Tipo emitido por EASA es el Pipistrel Velis Electro, además, lleva equipado un motor eléctrico Pipistrel E-811-268MVLC que ya obtuvo previamente su Certificado de Tipo. En los anexos se adjuntan los respectivos datos generales de ambos certificados.

## 7. ESTUDIO DE MERCADO

A continuación, haremos un estudio sobre diferentes proyectos de aeronaves eléctricas e híbridas con el objetivo de comprobar cuales son las principales tendencias tecnológicas. Además, podemos comprobar que tipo de tecnología ha sido desechada y cual se emplea de manera recurrente, lo que a su vez nos puede indicar en que ámbitos son más necesarias las mejoras. Para ello dividiremos las aeronaves en tres grupos en función del estado del proyecto, pudiendo encontrarse este en desarrollo, haber sido cancelado o contar ya con una certificación que permita su uso general. Cabe destacar que únicamente catalogaremos como certificados aquellas aeronaves que cuenten con un Certificado de Tipo expedido por EASA.

### 7.1 PROYECTOS CON CERTIFICACIÓN

**Pipistrel Velis Electro:** Desarrollado por la empresa eslovena Pipistrel, es el primer y único avión eléctrico que ha logrado recibir el Certificado de Tipo emitido por EASA, el cual le permite realizar vuelos VFR diurnos destinados al entrenamiento de pilotos



Figura 7.1. Avioneta Pipistrel Velis Electro. (Fuente: Pipistrel Aircraft)

Está equipado con un motor Pipistrel E-811, el primer motor eléctrico destinado a la aviación general que cuenta con un Certificado de Tipo. Este motor combina un

motor eléctrico y un controlador ambos con refrigeración líquida (50% agua y 50% glicol). Proporciona una potencia máxima de 57,6 kW y una potencia continuada de 49,2 kW.



Figura 7.2. Simulación del motor Pipistrel E-811. (Fuente: Transportup)

Cuenta con dos baterías Pipistrel PB345V124E-L de iones de litio con una capacidad de 24,8 kWh, lo que le otorga una autonomía de 50 minutos y una reserva de 30 minutos. Están dispuestas en paralelo de manera que se garantiza la redundancia de la fuente de alimentación en caso de fallo.

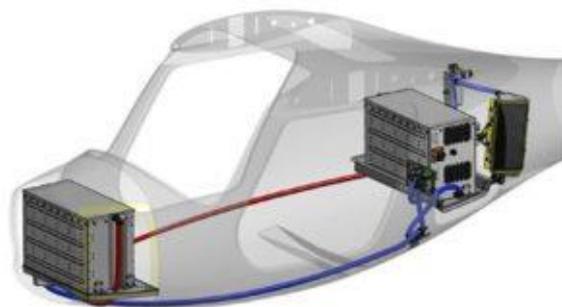


Figura 7.3. Disposición de las baterías del Pipistrel Velis Electro.  
(Fuente: Aviasport)

Para finalizar, alcanza una velocidad máxima de crucero de 167 km/h, con un techo de vuelo de 12.000 pies y una carga útil de 172 kg. A estas características hay que sumar que produce unos niveles de ruido de 60 dBa, equivalente a una conversación o a lo que producen algunos electrodomésticos como batidoras o

aspiradoras.

## 7.2 PROYECTOS CANCELADOS

**DigiSky SkySpark:** Desarrollado por científicos italianos con el apoyo de la empresa aeronáutica DigiSky, consistió en la adecuación de la aeronave ultraligera Alpi Aviation Pioneer 300, la cual está enfocada a la aviación deportiva.



Figura 7.4. Avioneta DigiSky SkySpark. (Fuente: Wikipedia)

La aeronave contaba con un motor eléctrico SICME Motori VA2-SKY 65 "Valentino", el cual aporta una potencia de 67 kW y pretendía emplear celdas de hidrógeno como fuente de alimentación, sin embargo, para los vuelos de prueba que se realizaron usó 108 baterías Kokam, las cuales son de litio.



Figura 7.5. Motor eléctrico SICME Motori VA2-SKY 65 "Valentino".  
(Fuente: Aeromedia)

Logró realizar cuatro vuelos de prueba durante 2009, ninguno de más de 10 minutos. En dichos vuelos superó los 250 km/h, una marca récord para la aviación eléctrica en aquella época. Posteriormente se decidió comenzar con la implementación de las celdas de hidrógeno y de un sistema de gestión de las baterías. El proyecto fue cancelado dada las complicaciones que surgieron a la hora de intentar implementar dichas celdas, cabe destacar que todo ello se llevó a cabo antes de 2010.

**Kitty Hawk Flyer:** Con el desarrollo del Flyer, la empresa americana Kitty Hawk pretendía crear un VTOL (Aeronave de despegue y aterrizaje vertical) eléctrico destinado al uso personal o a ser empleado como taxi. Destacaba lo fácil que era su manejo, la empresa comunicó que 75 personas sin conocimientos sobre aeronaves fueron capaces de aprender a controlarlo en menos de dos horas de entrenamiento.



Figura 7.6. VTOL Kitty Hawk Flyer. (Fuente: Americanhelicopter)

El prototipo contaba con 10 motores de corriente continua, cada uno destinado a proporcionar potencia a una hélice bipala. Como fuente de alimentación cada motor empleaba una batería de polímero de litio, las cuales proporcionaban un vuelo de máximo 20 minutos. Como consecuencia de la poca practicidad derivada de la corta duración de las baterías el prototipo fue desechado, posteriormente la compañía Kitty Hawk anunciaría su cierre, quedando únicamente operativo el proyecto adquirido por Boeing.

### 7.3 PROYECTOS EN DESARROLLO

**Bye Aerospace EFlyer 2:** Desarrollado por la estadounidense Bye Aerospace, el EFlyer 2 pretende convertirse en una opción de bajo costo para el entrenamiento pilotos. En lo relativo a las baterías, las de litio de alta densidad se posicionan como las favoritas para este modelo. Se espera que cuente con un motor eléctrico ENGINEUS™ 100 con refrigeración por aire, este motor desarrollado por el grupo Safran ofrece una potencia máxima de 110 kW.



Figura 7.7. Motor eléctrico ENGINEUS™ . (Fuente: Safran Group)

Con una carga útil de 205 kg se espera que logre una velocidad cercana a los 250 km/h con una autonomía máxima que ronde las 4 horas. Puede ser considerado el primer avión eléctrico en lograr la certificación FAA 14 CFR Amendment Part 23-64 en “Categoría Normal”.



Figura 7.8. Avioneta Bye Aerospace eFlyer 2. (Fuente: ByeAerospace)

**Elektra Trainer:** La compañía alemana Elektra está desarrollando una avioneta de entrenamiento cuyo coste de operación supone la mitad que el de una avioneta convencional. La avioneta Trainer cuenta con un motor eléctrico HPD-50D capaz de ofrecer una potencia pico de 50 kW lo que junto con su batería

recargable de 35 kWh le permite tener un coste operativo de 60 €/h, mientras que un ultraligero de entrenamiento convencional suele tener valores superiores a los 100 €/h.



Figura 7.9. Elektra Trainer. (Fuente: Elektra Solar)

Su batería le permite una autonomía de 2.5 horas, pero ofrece la posibilidad de realizar ciclos de 50 minutos de vuelo y 35 minutos cargando si se dispone de un punto de carga de 18 kW. Alcanza una velocidad de crucero de 120 km/h emitiendo un ruido inferior a los 50 dB, lo que permite su uso en zonas de bajo nivel de ruido.

**Elektra One Solar:** A diferencia del modelo Trainer, el One Solar está únicamente enfocado al uso recreativo y tiene la posibilidad de operar como aeronave no tripulada. Cuenta con un motor eléctrico HPD 32D capaz de proporcionar un máximo de 32 kW. Destaca por tener sus alas cubiertas por 7.5 m<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos, los cuales junto con generador y un conversor solar incorporados en la aeronave, son capaces de aportar 1.65 kWh de forma paralela al motor y la batería. La energía solar obtenida permite ampliar la autonomía de la avioneta en un 30%.



Figura 7.10. Avioneta Elektra One Solar. (Fuente: Elektra Solar)

Este modelo cuenta con una autonomía máxima de 2.5 horas en su versión tripulada y 5 horas en su versión no tripulada, su velocidad de crucero alcanza los 90 km/h y apenas genera 50 dB de ruido.

**Volta Volare DaVinci:** Actualmente la empresa aeronáutica Volta Volare está llevando a cabo el desarrollo conceptual del modelo DaVinci. Pretenden crear una aeronave híbrida de 4 plazas con una velocidad de crucero cercana a los 300 km/h a una altura de 12.5000 pies. El uso de un motor híbrido les permitiría alcanzar los 220 kW de potencia, un valor bastante superior al que ofrecen los motores eléctricos. La estructura será de compuestos de carbono, lo que les hace estimar una carga útil de 545 kg.



Figura 7.11. Avioneta Volta Volare DaVinci. (Fuente: Voltare Volare)

**Yuneec International E430:** Durante 2009 la compañía china Yuneec International logró que el E430 realizará varios vuelos de prueba. Esta avioneta biplaza logró ser la primera aeronave eléctrica en ser certificada por la Administración China de Aviación Civil.



Figura 7.12. china Yuneec International E430. (Fuente: SustainableSkies)

La avioneta lleva incorporado un motor eléctrico Yuneec Power Drive 40, capaz de ofrecer 40kW de potencia, y unas baterías de polímero de litio como fuente de alimentación. Dichas baterías tienen un peso de 13 kg cada una y aportan 2 kWh de energía.



Figura 7.13. Batería de polímero de litio. (Fuente: Batteryupgrade)

Gracias a su característica cola en V y a su diseño, era capaz de alcanzar un rango de 225 kilómetros en vuelo de crucero a 90 km/h. Fue registrada en Estados Unidos con otro nombre y logró el Certificado de Aeronavegabilidad emitido por la FAA, sin embargo, tras varios años intentando desarrollar unas

celdas solares para instalar en las alas y recargar las baterías, la compañía China cesó su actividad en 2014.

**Electra's eSTOL:** A pesar de que aún se encuentra en la fase conceptual, Electra quiere lograr con su eSTOL, una aeronave híbrida capaz de aterrizar y despegar en distancias cortas. Esta avioneta sería capaz de transportar 2 pilotos y 9 pasajeros con equipaje de 23 kg cada uno a una distancia de 740 kilómetros.



Figura 7.14. Prototipo Electra eSTOL. (Fuente: Electra)

Por medio de un turbogenerador de 150 kW encargado de abastecer ocho motores eléctricos y unas baterías recargables, el eSTOL podría alcanzar los 325 km/h en vuelo de crucero y transportar una carga de pago de 1135 kg. Sus características le permiten despegar y aterrizar en pistas de tan solo 46 metros generando únicamente un ruido de 75 dBa durante estas operaciones.

**NASA X-57 Maxwell:** El X-57 “Maxwell” de la es un proyecto experimental de la NASA. Mediante la conceptualización y desarrollo de esta aeronave completamente eléctrica, pretenden tener una primera toma de contacto con el diseño de este tipo de aeronaves y comprobar cuales son principales desafíos que presenta su proceso de certificación.



Figura 7.15. Prototipo NASA X-57 “Maxwell”. (Fuente: Nasa)

El proceso de diseño se basará en la adecuación de una avioneta biplaza Tecnam P2006T, al cual se añadirán baterías de ion de litio con un peso de 390 kg y una energía aprovechable de 47 kWh. Dichas baterías serán las encargadas de alimentar 14 motores eléctricos, 2 motores de crucero de 67 kW con refrigeración por aire y 12 motores de alto empuje de 10.5 kW, también refrigerados mediante aire. Gracias a esta configuración de los motores, una vez alcanzadas las condiciones de crucero únicamente operaran los 2 motores de crucero, lo cual reduce en gran medida el consumo energético y el drag.

En base a este diseño, planean desarrollar una aeronave capaz de alcanzar los 277 km/h en vuelo de crucero y que sea 500 veces más eficiente que su versión convencional.

**Tecnam P-Volt:** La empresa italiana Tecnam en colaboración con Rolls-Royce y algunas compañías aéreas llevaron a cabo el diseño del P-Volt, una aeronave enfocada al transporte de pasajeros de corta y media distancia.



Figura 7.16. Prototipo Tecnam P-Volt. (Fuente: Tecnam)

Esta aeronave contaría con un doble motor eléctrico y una capacidad de 9 pasajeros. Sin embargo, el desarrollo del prototipo se paralizó a los tres años como consecuencia de varias limitaciones tecnológicas derivadas de las baterías. En los estudios que realizaron comprobaron que las baterías actuales tendrían un máximo de 170 Wh/kg y deberían ser sustituidas tras varios cientos de vuelos, lo que supone un elevado coste de mantenimiento. El estudio de las baterías se llevó a cabo suponiendo un escenario optimista en el cual se limitaba la carga máxima por ciclo y se reducía en todo lo posible la velocidad de carga, todo ello con la finalidad de reducir la degradación de las baterías.

**Heart Aerospace ES30:** La empresa sueca Heart Aerospace, enfocada en la aviación eléctrica, está desarrollando el ES30, un avión eléctrico de 30 pasajeros destinado al transporte regional.



Figura 7.17. Prototipo Heart Aerospace ES30 lateral. (Fuente: Heart Aerospace)

Su funcionamiento se basa en 4 motores eléctricos que obtienen su energía de las baterías o de unos turbogeneradores híbridos auxiliares. Gracias a esta configuración es capaz de volar un rango de 200 kilómetros en modo eléctrico, 400 kilómetros ayudándose de los turbogeneradores híbridos y llegar a alcanzar los 800 kilómetros si reduce el número de pasajeros a 25. Gracias a la capacidad de carga rápida de las baterías estiman un tiempo de carga entre vuelos de únicamente 30 minutos.



Figura 7.18. Prototipo Heart Aerospace ES30 frontal. (Fuente: Heart Aerospace)

**Zunum Aero ZA10:** Zunum Aero plantea el concepto de una aeronave híbrida y económica de 12 pasajeros capaz de recorrer hasta 1130 kilómetros.



Figura 7.19. Esquema del Zunum Aero ZA10. (Fuente: Prweb)

Su propulsión se basa en un generador eléctrico que obtendrá la energía del motor turboeje Ardiden 3, desarrollado por Safran y enfocado al uso en helicópteros. Este motor es capaz de ofrecer 500 kW de potencia, lo que junto con las baterías y un sistema de autogestión las mismas les permite estimar un coste operativo de 250\$/hora, lo que supondría una reducción de entre el 60% y el 80% respecto a la competencia.



Figura 7.20. Motor turboeje Ardiden 3. (Fuente: Safran Group)

**Faradair Bio Electric Hybrid Aircraft (BEHA):** Con el diseño del BEHA, la empresa Faradair quiere ir más allá en el desarrollo de aeronaves híbridas. Su objetivo es combinar un motor turbopropulsor que emplee biocombustibles con un motor eléctrico, empleando ambos motores durante el despegue y únicamente usando el turbopropulsor para regenerar energía durante el vuelo de crucero.



Figura 7.21. Prototipo Faradair Bio Electric Hybrid Aircraft. (Fuente: Ainonline)

Gracias a esta configuración, ven viable desarrollar un STOL (Aeronave de corto recorrido de despegue y aterrizaje) capaz de transportar 18 pasajeros a más de 1800 kilómetros.

**Ampaire Electric EEL:** La startup americana Ampaire ha logrado con su Ampaire Electric EEL recorrer 1827 kilómetros, el vuelo más largo jamás realizado por una aeronave híbrida-eléctrica. El Ampaire Electric EEL se desarrolló mediante la electrificación de un Cessna 337 Skymaster de seis plazas.



Figura 7.22. Avioneta Ampaire Electric EEL. (Fuente: Ampaire)

En este proceso de electrificación se ha sustituido el motor de pistón delantero por un motor eléctrico, el cual obtiene su energía de unas baterías de ion de litio, y se ha mantenido un motor de combustión en la parte trasera. Ambos motores pueden operar de manera conjunta o individualmente, de manera que en función de la situación de vuelo se puede efectuar un tramo de vuelo con propulsión únicamente eléctrica. A pesar de la marca lograda, la aeronave está diseñada para vuelos de 640 kilómetros, pudiendo transportar 3 pasajeros o una carga 200 kg.

**EAG Hybrid Electric Regional Aircraft:** La británica EAG quiere tener listo para 2028 un avión híbrido capaz de efectuar vuelos regionales con más de 70 pasajeros. Hoy en día su desarrollo se encuentra en fase conceptual, pero ya han adelantado que contará con un sistema de regeneración de baterías durante el vuelo y que será de corto recorrido de despegue y aterrizaje.



Figura 7.23. Prototipo EAG Hybrid Electric Regional Aircraft.  
(Fuente: Electric Aviation Group )

El sistema de regeneración aprovechará la energía potencial de la aeronave, logrando así un uso neutral de las baterías que elimina la necesidad de cargarlas en tierra. Las baterías irán colocadas en el interior de las alas y contarán con un sistema de control térmico, sin embargo, están esperando a que baterías con mayor densidad energética salgan al mercado.

**Wright Spirit:** Gracias a sus avances en sistemas de propulsión, la empresa Wright planea la electrificación del BAe 146, un avión de 4 motores y hasta 100 pasajeros que no tiene permitido operar en algunos aeropuertos como consecuencia del ruido que produce.



Figura 7.24. Prototipo Wright Spirit. (Fuente: Weflywright)

El Spirit basa su diseño en un motor eléctrico de 1 MW desarrollado por la propia empresa y que ya ha sido probado en vuelos de prueba con otras aeronaves. Dicho motor le permitiría operar sin problema en vuelos de 1 hora, pero también dispondrá de un motor de combustión para posibles emergencias.



Figura 7.25. Motor Wright de 1MW. (Fuente: Weflywright)

Un motor eléctrico de tal potencia precisa de mucha energía, por ello están planteando usar celdas de hidrógeno o de cómo fuente de alimentación.

**Wisk Cora:** Mediante el desarrollo del modelo Cora, Wisk quiere lograr el primer taxi volador completamente eléctrico. El Wisk Cora es una aeronave autónoma de despegue y aterrizaje vertical capaz de transportar 4 pasajeros con su respectivo equipaje. A pesar de ser completamente autónoma, contará con supervisión humana de sus operaciones desde tierra.



Figura 7.26. Aeronave autónoma Wisk Cora. (Fuente: Wisk Aero)

La aeronave cuenta con 12 motores eléctricos, 6 instalados en cada ala fija. A pesar de no haber especificado el tipo de baterías que van a emplear, prevén un tiempo de carga de 15 minutos, un rango de 144 kilómetros y una velocidad de crucero de 220 km/h.



Figura 7.27. Disposición de los motores del Wisk Cora. (Fuente: Wisk Aero)

**Vertical Aerospace VA-X4:** En colaboración con Rolls-Royce, la británica Virtual Aerospace está desarrollando uno de los trenes motrices eléctricos más potentes y ligeros del mercado. Paralelamente se encuentran en la fase de diseño del VA-X4, una aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical que equipará dicho motor.



Figura 7.28. Prototipo Vertical Aerospace VA-X4. (Fuente: Vertical Aerospace)

Gracias al motor en desarrollo, el cual estiman que tendrá más de 1 MW de potencia, será capaz de transportar 4 pasajeros a una distancia superior a 160 kilómetros con una velocidad máxima de 320 km/h. Como fuente de alimentación empleará celdas cilíndricas de ion de litio desarrolladas por Molinel. De manera complementaria incorporarán la tecnología de control de vuelo que desarrollo Honeywell para el F35, lo que aportaría gran cantidad de automatización en las operaciones.

**Lilium Jet:** La empresa aeronáutica alemana Lilium se encuentra en el proceso de desarrollo del Lilium Jet, una aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical. Gracias a la tecnología que están diseñando, este modelo será capaz de transportar de 4 a 6 pasajeros en un rango de 200 kilómetros y con una velocidad de hasta 300km/h.



Figura 7.29. Prototipo Lilium Jet. (Fuente: Lilium )

Para ello están diseñando unos motores a reacción eléctricos que irán integrados en los flaps del ala, lo que mejoraría considerablemente la aerodinámica y la carga de peso.

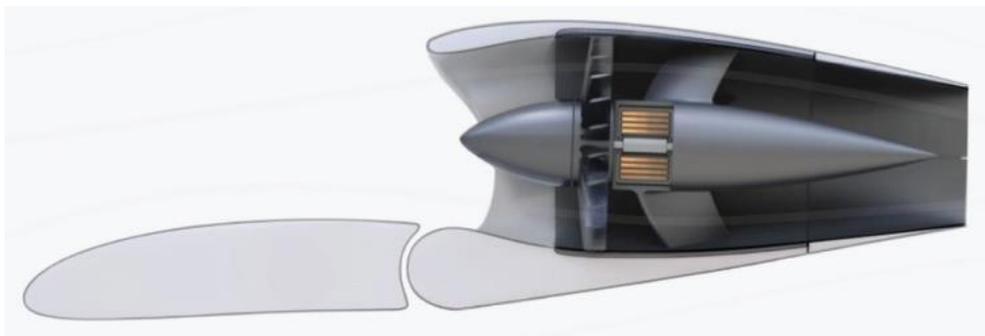


Figura 7.30. Esquema del motor eléctrico del Lilium Jet. (Fuente: Lilium)

Las baterías con las que cuentan actualmente cuentan con una densidad energética superior a los de 300 Wh/Kg y una densidad de potencia de 3kW/kg. Dichas baterías permiten un uso de entre el 85% y el 90% de la energía almacenada, lo que sería suficiente para un trayecto de 250 kilómetros incluyendo la energía de reserva.

**Airspeeder MK.4:** Al igual que existen una variante eléctrica de la Formula 1, es posible que la construcción del MK.4 de lugar a las competiciones de aviones eléctricos. Airspeeder pretende crear la primera aeronave eléctrica para carreras

de velocidad, capaz de alcanzar los 360 km/h con una aceleración 0-100 km/h en 2.3 segundos, lo que superaría a cualquier automóvil actual.

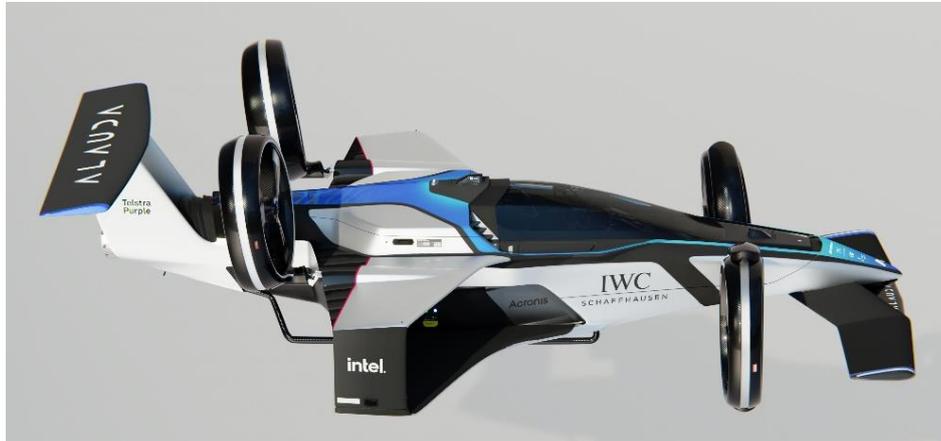


Figura 7.31. Prototipo Airspeeder MK4. (Fuente: Airspeeder)

Para que esto sea posible, la aeronave contará con un motor eléctrico de 1 MW capaz de ser propulsado por hidrógeno, sin embargo, las limitaciones actuales les obligan a diseñarlo en base a baterías convencionales, las cuales tardarían entre 5 y 20 minutos en descargarse. A pesar de la rápida descarga de las baterías, esto no supone un problema, ya que al igual que en la Formula 1, aquí también habría pit-stop.

**Airbus/Audi Pop.Up:** Mediante esta colaboración entre dos grandes empresas como Audi y Airbus, pretenden revolucionar la movilidad eléctrica. Airbus se encargará del diseño de un módulo volador eléctrico capaz de acabar con los atascos.



Figura 7.32. Exposición del Airbus/Audi Pop.Up. (Fuente: Newatlas)

Mediante ocho motores eléctricos y una batería de 70 kWh, este módulo sería capaz de acoplarse al modelo eléctrico biplaza de Audi y transportarlo por el aire a velocidades superiores a los 500 km/h. A pesar de que la idea parezca demasiado futurista, estiman que, si el desarrollo de las baterías y motores eléctricos siguen la tendencia actual, el prototipo podría estar listo para 2030.

## 8. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo podemos concluir que electrificación de la aviación es altamente viable y que es una tendencia que irá aumentando a medida que avancen los años y se vayan imponiendo nuevas restricciones a los combustibles fósiles. Se ha comprobado que tiene diversos beneficios para las personas relacionadas con la industria de la aviación. Los fabricantes pueden reducir los costes derivados de la fabricación de piezas mecánicas, los pasajeros contarían con una aviación mucho más silenciosa y menos lesiva para el medio ambiente, las compañías podrán operar en más lugares al verse reducido el ruido ocasionado en zonas aeroportuarias y en los espacios cercanos, y también se generaría la necesidad de tener trabajadores especializados en este tipo de tecnología, lo que daría lugar a nuevos puestos de trabajo y a un impulso económico para la comunidad en la que se generen. Por otro lado, hemos podido ver como los organismos europeos de certificación están colaborando con los diversos fabricantes con el objetivo de impulsar estas iniciativas y lograr un consenso en los estándares de producción. Por último, tras el análisis de diversos prototipos, hemos comprobado como hoy en día las aeronaves totalmente eléctricas solo son viables para trayectos cortos y transporte de un reducido número de personas o carga de poco peso. Gran parte de esta limitación se debe a las baterías con las que contamos actualmente, las cuales tienen valores de densidad energética insuficientes para la aviación comercial y se degradan rápidamente. Como consecuencia de esto la mayoría de los prototipos incorporan baterías de ion-litio ya que tienen prestaciones suficientes y no suponen un coste tan grande a la hora de sustituirse. De cara a futuro se espera que las aeronaves destinadas a realizar grandes trayectos empleen celdas de hidrógeno como principal fuente de alimentación. Gran parte de los proyectos se encuentran parados a la espera de los próximos avances en materia de baterías y sistemas de gestión de la energía. Se estima que para 2030 contaremos con la tecnología necesaria para producir los primeros modelos completamente eléctricos para aviación comercial, capaces de sustituir y retirar a los modelos actuales. A pesar de todo esto hay que destacar el gasto que supondría a las operadoras aéreas la sustitución de su flota por una completamente eléctrica, por esto mismo, se

espera que los diferentes organismos y gobiernos empiecen a subvencionar este tipo de iniciativas y proyectos como ya ocurrió en los inicios del automóvil eléctrico y sigue ocurriendo. Finalmente, podemos decir que la movilidad eléctrica es el futuro que nos espera, al menos en los países desarrollados, y que los avances tecnológicos que tengan lugar en los próximos años serán muy importantes para el porvenir de estas iniciativas.

## 9. AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar este espacio para expresar mi agradecimiento hacia mi familia por el inmenso apoyo que me han brindado a lo largo de mis cuatro años de universidad. Vuestra presencia constante, amor incondicional y aliento inquebrantable han sido fundamentales en mi éxito académico y personal.

También quiero agradecer a mis amigos, quienes han sido mi segunda familia durante estos años universitarios. Gracias por los momentos de diversión, las conversaciones profundas y el apoyo mutuo en los momentos de presión académica. Sin duda una de las mejores cosas de mi experiencia universitaria.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Nova One Advisor. (s.f.). Electric Vehicle Market Report. Disponible en: <https://www.novaoneadvisor.com/report/electric-vehicle-market> [Consultado en Junio 2023]
- European Commission - Eurostat. (2023). "Electric vehicles and power demand for transport up". Disponible en: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230324-1> [Consultado en Junio 2023]
- Martil, I. (2019). "Funcionamiento de una batería de ion litio: pros y contras. Material Eléctrico". Disponible en: <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras> [Consultado en junio 2023]
- NASA Glenn Research Center. (s.f.). "Aircraft configurations". Disponible en: <https://www1.grc.nasa.gov/aeronautics/eap/airplane-concepts/aircraft-configurations/> [Consultado en Junio 2023]
- Lookerstudio. (s.f.). "GENERAL AVIATION AND RECREATIONAL AIRCRAFT A NON EXTENSIVE LIST OF PROJECTS". Disponible en: [https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/b11b0ed8-c723-4c79-a06d-74a437584ef3/page/p\\_qb4genx8lc](https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/b11b0ed8-c723-4c79-a06d-74a437584ef3/page/p_qb4genx8lc) [Consultado en Junio 2023]
- N. Omar, Y.Firouz, H.Gualous, J.Salminen, T.Kallio, J.M.Timmermans, Th.Coosemans, P.Van den Bossche, J.Van Mierlo (2015). "Rechargeable Lithium Batteries". *Fundamentals to Application*, páginas 263-279. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781782420903000092> [Consultado en Junio 2023]
- Morón, E. (12/2/2022). Pilas de combustible de hidrógeno: limitaciones y una posible solución [Publicación de blog]. Hive.blog. Disponible en: <https://hive.blog/hive-196387/@emiliomoron/pilas-de-combustible-de-hidrogeno-limitaciones-y-una-posible-solucion> [Consultado en Junio 2023]

E-Vehicleinfo. (s.f.). Aluminum-Air Battery in Electric Vehicles: Advantages and Disadvantages. Disponible en: <https://e-vehicleinfo.com/aluminum-air-battery-in-electric-vehicles-advantage-and-disadvantages/> [Consultado en Junio 2023]

JAVIER GÓMARA (2021). “La agencia de seguridad aérea aprueba el primer punto de recarga para aviones eléctricos”. Disponible en: [https://www.hibridosyelectricos.com/aviones/aprobado-easa-primer-punto-carga-aviones-electricos\\_49283\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/aviones/aprobado-easa-primer-punto-carga-aviones-electricos_49283_102.html) [Consultado en Junio 2023]

Pipistrel Aircraft. (s.f.). “Velis Electro”. Disponible en: <https://www.pipistrel-aircraft.com/products/velis-electro/#1680717339675-b6d1143d-a61a1680811899143> [Consultado en Junio 2023]

Pipistrel Press Release (2020). “Pipistrel Certifies its E-811 Engine, Available to Other OEMS”. Disponible en: <https://transportup.com/headlines-breaking-news/vehicles-manufactures/pipistrel-certifies-its-e-811-engine-available-to-other-oems/> [Consultado en Junio 2023]

“VELIS ELECTRO: LLEGANDO DEL FUTURO, AHORA CON CERTIFICACIÓN DE TIPO EASA” (s.f.). Disponible en: [http://beta.aviasport.com/Pipistrel/Velis\\_Electro/Velis\\_Electro.aspx](http://beta.aviasport.com/Pipistrel/Velis_Electro/Velis_Electro.aspx) [Consultado en Junio 2023]

Alejandra Vargas M. (2019). “Italianos crearon un avión 100% eléctrico”. *La Nación*. Disponible en: <https://www.nacion.com/ciencia/italianos-crearon-un-avion-100-electrico/X3HH5H5QX5E3BM37WMWWW2LXNI/story/@alevargas/> [Consultado en Junio 2023]

(2009). “SkySpark Makes Electric Speed Record”. *Aeromedia*. Disponible en: <http://www.aeromedia.it/ssparkgb.html> [Consultado en Junio 2023]

American Helicopter Museum. (s.f.). “Kitty Hawk Flyer”. Disponible en: <https://americanhelicopter.museum/aircraft/kitty-hawk-flyer/> [Consultado en Junio 2023]

ByE Aerospace. (s.f.). “Electric Airplane”. Disponible en: <https://byeaerospace.com/electric-airplane/> [Consultado en Junio 2023]

Elektra Solar. (s.f.). “Elektra Trainer Solar”. Disponible en: <https://www.elektra-solar.com/products/elektra-trainer-solar/> [Consultado en Junio 2023]

Elektra Solar. (s.f.). “Elektra One Solar”. Disponible en: <https://www.elektra-solar.com/products/elektra-one-solar/> [Consultado en Junio 2023]

Safran Group. (s.f.). “Engineus™”. Disponible en: <https://www.safran-group.com/products-services/engineustm> [Consultado en Junio 2023]

Volta Volare. (s.f.). “Performance”. Disponible en: <http://www.voltavolare.com/performance/> [Consultado en Junio 2023]

Dean Sigler (2016). “China’s First Certified Electric Airplane Ready for Mass Production”. *Sustainable Skies*. Disponible en: <http://sustainableskies.org/chinas-first-certified-electric-airplane-ready-for-mass-production/> [Consultado en Junio 2023]

Yuneec International. (s.f.). “Yuneec E430”. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Yuneec\\_International\\_E430](https://en.wikipedia.org/wiki/Yuneec_International_E430) [Consultado en Junio 2023]

BatteryUpgrade. (s.f.). “Batería compatible con Yuneec H520”. Disponible en: [https://www.batteryupgrade.es/producto/drone/yuneec/h520/bateria-compatible-con-yuneec-h520\\_ey-yun-h520-7900-li/82549846/71497402](https://www.batteryupgrade.es/producto/drone/yuneec/h520/bateria-compatible-con-yuneec-h520_ey-yun-h520-7900-li/82549846/71497402) [Consultado en Junio 2023]

Electra. (s.f.). “Electra”. Disponible en: <https://www.electra.aero/> [Consultado en Junio 2023]

Future Flight. (s.f.). “Electra eSTOL”. Disponible en: <https://www.futureflight.aero/aircraft-program/electra-estol> [Consultado en Junio 2023]

NASA Armstrong Flight Research Center. (s.f.). “Fact Sheet - Electric Aircraft”. Disponible en: <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-109.html> [Consultado en Junio 2023]

Tecnam. (s.f.). “Tecnam P-Volt: Lifting the World to Sustainable Energy”.

Disponible en: <https://tecnam.com/tecnam-p-volt-lifting-the-world-to-sustainable-energy/> [Consultado en Junio 2023]

Tecnam. (s.f.). “Tecnam to Postpone the P-Volt Programme”. Disponible en:

<https://tecnam.com/tecnam-to-postpone-the-p-volt-programme/> [Consultado en Junio 2023]

Heart Aerospace. (s.f.). “ES-30”. Disponible en: <https://heartaerospace.com/es-30/>

[Consultado en Junio 2023]

Safran Helicopter Engines. (2018). “Zunum Aero and Safran Helicopter Engines Join Forces to Deliver Electric Commercial Aircraft with Unparalleled Efficiency”.

*PRWeb*. Disponible en:

[https://www.prweb.com/releases/zunum\\_aero\\_and\\_safran\\_helicopter\\_engines\\_join\\_forces\\_to\\_deliver\\_electric\\_commercial\\_aircraft\\_with\\_unparalleled\\_efficiency/prweb15814645.htm](https://www.prweb.com/releases/zunum_aero_and_safran_helicopter_engines_join_forces_to_deliver_electric_commercial_aircraft_with_unparalleled_efficiency/prweb15814645.htm) [Consultado en Junio 2023]

Jerram, P. (2020, Julio). “Faradair establishes Duxford HQ for hybrid electric

STOL”. AINonline. Disponible en: [https://www.ainonline.com/aviation-](https://www.ainonline.com/aviation-news/aerospace/2020-07-16/faradair-establishes-duxford-hq-hybrid-electric-stol)

[news/aerospace/2020-07-16/faradair-establishes-duxford-hq-hybrid-electric-stol](https://www.ainonline.com/aviation-news/aerospace/2020-07-16/faradair-establishes-duxford-hq-hybrid-electric-stol)

[Consultado en Junio 2023]

Aerospace Testing International. (s.f.). “Longest hybrid-electric flight made by Ampaire's EEL aircraft”. Disponible en:

<https://www.aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/longest-hybrid-electric-flight-made-by-ampaires-eel-aircraft.html> [Consultado en Junio 2023]

Ampaire. (s.f.). “Electric EEL Aircraft”. Disponible en:

<https://www.ampaire.com/vehicles/electric-eel-aircraft>[Consultado en Junio 2023]

EAG. (s.f.). “EAG Launches 70-Seat Hybrid Electric Regional Aircraft”. Disponible

en: [https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2020-07-20/eag-](https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2020-07-20/eag-launches-70-seat-hybrid-electric-regional-aircraft)

[launches-70-seat-hybrid-electric-regional-aircraft](https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2020-07-20/eag-launches-70-seat-hybrid-electric-regional-aircraft) [Consultado en Junio 2023]

Electric Aviation Group. (s.f.). "Electric Flight". Disponible en: <https://www.electricaviationgroup.com/electric-flight/> [Consultado en Junio 2023]

Wright Electric. (s.f.). "Aircraft". Disponible en: <https://www.weflywright.com/aircraft> [Consultado en Junio 2023]

Wright Electric. (s.f.). "Motor". Disponible en: <https://www.weflywright.com/motor> [Consultado en Junio 2023]

Wright Electric (2023). "Wright Spirit Whitepaper". Disponible en: <https://docsend.com/view/faiijijzkvqdcjg> [Consultado en Junio 2023]

Wisk Aero. (s.f.). "Aircraft". Disponible en: <https://wisk.aero/aircraft/> [Consultado en Junio 2023]

Vertical Aerospace. (s.f.). "VA-X4". Disponible en: <https://vertical-aerospace.com/vx4/> [Consultado en Junio 2023]

Vertical Aerospace. (2022). "Vertical Aerospace and Molicec partner to power the VX4". Disponible en: [https://vertical-aerospace.com/wp-content/uploads/2022/07/ver\\_VerticalAerospace\\_PressRelease\\_220706.pdf](https://vertical-aerospace.com/wp-content/uploads/2022/07/ver_VerticalAerospace_PressRelease_220706.pdf) [Consultado en Junio 2023]

Lilium. (s.f.). "Technology behind the Lilium Jet". Disponible en: <https://lilium.com/newsroom-detail/technology-behind-the-lilium-jet> [Consultado en Junio 2023]

Airbus. (s.f.). "Airbus and Audi reveal their Pop.Up Next drone". Disponible en: <https://newatlas.com/airbus-audi-pop-up-next-drone/53700/> [Consultado en Junio 2023]

Airspeeder. (s.f.). The Mk4: The First Crewed Flying Racing Car. Disponible en: <https://airspeeder.com/news/the-mk4-the-first-crewed-flying-racing-car> [Consultado en Junio 2023]

## 11. ANEXOS

TCDS No.: EASA.A.573

Virus SW 121

Date: 10 June 2020

Issue: 05

### **SECTION B: MODEL B DESIGNATION**

#### **B.I. General**

##### 1. Type/ Model/ Variant

1.1 Type: Virus SW 121

1.2 Model: Virus SW 128 (Velis Electro)

##### 2. Airworthiness Category: Normal

##### 3. Manufacturer:

Pipistrel d.o.o. Ajdovščina  
Goriška cesta 50a  
5270 Ajdovščina  
SLOVENIA

4. EASA Type Certification Application Date: 24.10.2017

5. EASA Type Certification Date: 15.05.2020

#### **B.II. EASA Certification Basis**

1. Reference Date for determining the applicable requirements: 24<sup>th</sup> October 2017

##### 2. Airworthiness Requirements (note 1)

Certification Specifications and  
Acceptable Means of Compliance for  
Light Sport Aeroplanes CS-LSA,  
Amendment 1 from 29 July 2013;  
Certification Specifications and  
Acceptable Means of Compliance for  
Airborne Communications, Navigation  
and Surveillance CS ACNS issue 2 dated  
26th April 2019 (subparts A, B, D)

##### 3. Special Conditions:

SC-LSA-F2480-01 - LSA Propulsion  
Lithium Batteries;  
SC-LSA-15-01 - Electric Powerplant  
Installation for CS LSA aeroplanes;  
SC-ELA.2015-01 - Lithium battery  
installations;

##### 4. Exemptions:

none

##### 5. (Reserved) Deviations:

nonete 1)

##### 6. Equivalent Safety Findings:

none

##### 7. Environmental Protection:

see TCDSN EASA.A.573.



TE.CERT.00048-001©European Union Aviation Safety Agency,2020.All rights reserved.ISO9001 Certified.Page 8 of 12  
Proprietary document. Copies are not controlled. Confirm revision status through the EASA-Internet/Intranet.

An agency of the European Union

Anexo 10.1. Certificado de Tipo del Pipistrel Velis Electro.(Fuente: Easa)

TCDS No.: EASA.E.234  
Issue: 01

Pipistrel Vertical Solutions  
E-811 Engine

Date: 18 May 2020

## **I. General**

### **1. Type / Models**

Type: E-811  
Model: 268MVLC

### **2. Type Certificate Holder**

Pipistrel Vertical Solutions d.o.o.

Vipavska cesta 2  
5270 Ajdovščina  
Slovenia

Design Organisation Approval No.: EASA.21J.524

### **3. Manufacturer**

Pipistrel d.o.o.

Goriška cesta 50a  
5270 Ajdovščina  
Slovenia

Production Organisation Approval No.: SI.21G.0002

### **4. Date of Application**

28 December 2017

### **5. EASA Type Certification Date**

18 May 2020

## **II. Certification Basis**

### **1. State of Design Authority Certification Basis**

N/A

### **2. Reference Date for determining the applicable airworthiness requirements**

28 December 2017



An agency of the European Union

TE.CERT.00052-001 © European Union Aviation Safety Agency, 2020. All rights reserved. ISO9001 Certified. Page 4 of 8  
Proprietary document. Copies are not controlled. Confirm revision status through the EASA-Internet/Intranet.

Anexo 10.2. Certificado de Tipo del motor eléctrico Pipistrel E-811-268MVLC.

(Fuente: Easa)