



GRADO EN INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**Diseño y pautas para la construcción de un dron
autónomo destinado al mantenimiento de
aerogeneradores**

Presentado por:

Vicente Ferri Navarro

Dirigido por:

Enrique Bayonne

CURSO ACADÉMICO 2023-2024

Agradecimientos

Esta tesis ha sido posible gracias al apoyo y respaldo de las siguientes personas e instituciones:

Enrique Bayonne, profesor de Mecánica y Fluidomecánica, director del Cluster de Energía de la Comunidad Valenciana, y tutor de este TFG, quien me ha guiado en la generación de nuevas ideas para completar esta tesis y en la correcta presentación del trabajo, gracias por darme la libertad y la confianza para elegir e-Preve como proyecto de final de grado.

Equipo e-Preve, mis compañeros, con quienes empecé esta iniciativa hace dos años. Esta oportunidad me abrió las puertas al amplio mundo del mantenimiento preventivo y predictivo, permitiéndome explorar a fondo su alta relevancia en el mercado actual. Me gustaría agradecer especialmente a Eva González, quien ha convertido las decenas de bocetos planos de mi libreta en renders impresionantes, dándole vida y realidad al proyecto e-Preve. Eva, tu habilidad y vocación para el diseño te llevarán muy lejos, no me cabe duda.

A Nuvol Engineering, empresa fundada por el ingeniero aeronáutico Javier Ferrero y especializada en operaciones con drones para realizar análisis 3D, quién ha apoyado el desarrollo de esta tesis mediante propuestas de mejora y datos para conseguir un dron viable y eficiente.

Alicia Reig, consultora IT con experiencia en proyectos de transformación digital para empresas relacionadas con la energía sostenible, gracias por el conocimiento que has compartido conmigo y que me ha ayudado al desarrollo de esta tesis.

Gracias a todos y todas por permitirme crecer como profesional y como persona, continuaré esforzándome para sentirme orgulloso del camino que voy dejando atrás y para poder asegurarme de que este camino sea largo, interesante y gratificante.

Índice

<i>Índice de Figuras</i>	5
<i>Índice de Tablas</i>	5
<i>Resumen y Palabras Clave</i>	6
<i>Introducción</i>	7
<i>Contexto</i>	7
<i>Objetivo</i>	18
e-Preve N1	24
<i>Riesgos Para El Dron</i>	26
<i>Prestaciones Avanzadas</i>	29
<i>Componentes Del Dron</i>	31
<i>Criterios De Diseño</i>	45
<i>Materiales e-Preve N1</i>	50
<i>Evaluación Operativa Del Dron</i>	52
e-Preve N1 Box.....	53
e-Preve AirData	56
<i>Metodología</i>	60
Análisis del mercado	60
Diseño Técnico De La Solución Propuesta	62
Cálculo Del Plan Financiero	63
<i>Resultados</i>	64
e-Preve	65
Plan Financiero.....	70
<i>Discusión</i>	75
<i>Referencias</i>	77
<i>Apéndices</i>	79

Índice de Figuras

Figura 1. Préstamos de proyectos energías renovables vs. proyectos combustibles fósiles. ..9	
Figura 2. Consumo total de energía final por fuente, 2011, 2019 y 2021..... 10	
Figura 3. Estructura de potencias instaladas en % en España en 2023..... 11	
Figura 4. Mapa de MW totales por comunidades, 2024. 13	
Figura 5. Clasificación global del mercado de la construcción de aerogeneradores..... 15	
Figura 6. Diseños renderizados de los distintos productos de e-Preve..... 24	
Figura 7. Configuración inicial del simulador de componentes. 47	
Figura 8. Calculadora y ajuste de componentes electrónicos para su simulación eléctrica... 48	
Figura 9. Simulador del alcance del dron con los componentes seleccionados..... 49	
Figura 10. Simulador de las características funcionales del motor de la aeronave..... 49	
Figura 11. Ubicación de materiales para la estructura del dron. 51	
Figura 12. Pantalla de inicio de sesión y registro. 56	
Figura 13. Secuencia de pantallas para realizar la integración correctamente..... 57	
Figura 14. Interfaz para conectar los datos del aerogenerador a la plataforma AirData..... 58	
Figura 15. Dashboard principal de e-Preve AirData. 59	
Figura 16. Pantallas relativas a la información de las hélices del aerogenerador..... 60	
Figura 17. Pantallas de ajuste y control del dron e-Preve N1. 60	

Índice de Tablas

Tabla 1. Principales tareas de mantenimiento de un aerogenerador por operarios. 17	
Tabla 2. Principales puntos de dolor y líneas de actuación para cada uno de ellos..... 20	
Tabla 3. Comparativa de las funcionalidades de la competencia de e-Preve. 22	
Tabla 4. KPIs relevantes para la evaluación de la eficiencia del dron y su cálculo. 52	
Tabla 5. Componentes del dron e-Preve N1 divididos por secciones. 67	

Resumen y Palabras Clave

Resumen

Este trabajo de fin de grado recoge un análisis técnico para el diseño y la construcción de un dron 100% autónomo para realizar tareas de mantenimiento predictivo y preventivo en los aerogeneradores. En él se detallan los materiales y componentes escogidos, su análisis, y simulaciones tanto del funcionamiento del dron en el parque eólico como de la comunicación entre los componentes y la nube. Su enfoque no solamente se centra en los aspectos técnicos, sino que también se analiza su viabilidad económica para determinar los beneficios de este modelo de negocio. El dron tiene su propio nombre, e-Preve.

Palabras Clave

Dron, mantenimiento, eficiencia, análisis, inteligencia artificial, predicción, aerogeneradores, energía, renovable, tecnología, sostenibilidad, ambiental, industria, eólica, innovación, automatización, seguridad, inspección, datos, fiabilidad, diagnóstico, riesgos, sensores, supervisión.

Abstract

This final degree thesis includes a technical analysis for the design and construction of a 100% autonomous drone to carry out predictive and preventive maintenance tasks in wind turbines. It details the materials and components chosen, their analysis, and simulations of both the operation of the drone in the wind farm and the communication between the components and the cloud. Its focus is not only on the technical aspects, but also on its economic viability to determine the benefits of this business model. The drone has its own name, e-Preve.

Key Words

Drone, maintenance, efficiency, analysis, artificial intelligence, prediction, wind turbines, energy, renewable, technology, sustainability, environmental, industry, wind, innovation, automation, safety, inspection, data, reliability, diagnosis, risk, sensors, monitoring.

Introducción

En el contexto actual de la industria de las energías renovables, la necesidad de un mantenimiento eficiente de los aerogeneradores es crucial, por lo que el uso de nuevas tecnologías como los drones autónomos se presenta como una solución prometedora para abordar los desafíos de inspección y mantenimiento en parques eólicos de manera eficaz y segura.

E-Preve es la solución propuesta en este trabajo, y se enfoca en el diseño y desarrollo de un sistema integral para el mantenimiento de aerogeneradores. Consta de tres componentes principales: un dron de conducción autónoma (e-Preve N1), una estación de carga multifuncional (e-Preve N1 Box) y una plataforma de almacenamiento y análisis de datos con inteligencia artificial (e-Preve AirData).

El dron autónomo está diseñado para realizar inspecciones periódicas de los aerogeneradores de manera autónoma y eficiente, detectando posibles averías, roturas o fisuras, permitiendo también el almacenamiento y análisis de datos recogidos, que permite a los usuarios acceder a la información de manera inmediata, clara y efectiva. A lo largo de este trabajo se analizará el contexto actual de las empresas energéticas sostenibles y el mercado de las energías renovables, con especial énfasis en la energía eólica, para comprender mejor el entorno en el que se desarrolla este proyecto y se detallarán los componentes del sistema propuesto, justificando la selección de cada uno de ellos.

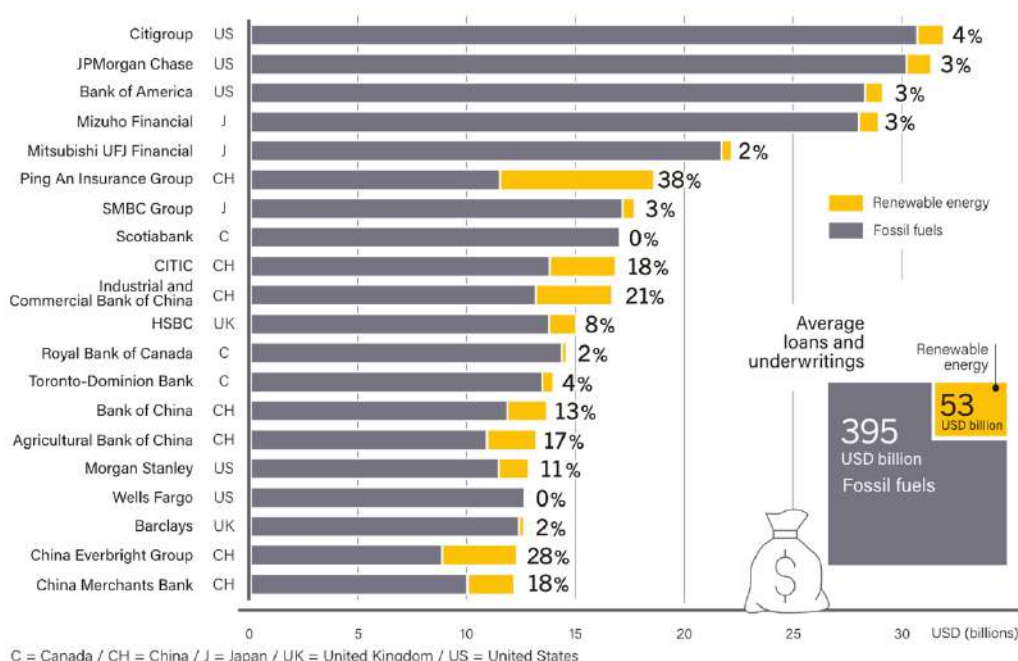
Contexto

En la actualidad, el mercado de las energías renovables supone un pilar fundamental para la transición hacia un futuro sostenible y resiliente. Energías renovables, como la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa, han ganado una prominencia significativa estas últimas décadas, suponiendo este pasado año 2023 un 30% del total de la energía generada a nivel global (REN21, 2023, p10). Estas fuentes de energía limpia no solo ofrecen una alternativa viable a los combustibles fósiles, sino que también promueven la seguridad energética, generan empleo, estimulan la innovación tecnológica y contribuyen al desarrollo económico.

Además, el impulso hacia las energías renovables está respaldado por políticas gubernamentales, inversiones privadas y un creciente compromiso global con la acción climática. En la figura 1 podemos observar que la inversión privada de bancos en para proyectos de energía renovable sigue siendo significativamente inferior frente a la inversión de proyectos de combustibles fósiles (REN21, 2023 p36), sin embargo, la conclusión que podemos obtener de estos resultados es que existe una marcada tendencia de aumento de inversión frente a otros años, y que ésta aumenta progresivamente. Este creciente interés tanto de empresas privadas como organismos públicos por las energías renovables se sostienen por diversas razones. Entre ellas destacamos la necesidad de fortalecer la seguridad energética, al diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados, ayuda a mitigar la volatilidad de los precios y a minimizar las interrupciones en el suministro de energía.

Siguiendo la línea de la seguridad, las energías renovables como la solar y la eólica, ofrecen estabilidad energética ya que se distribuyen en una amplia gama de ubicaciones geográficas y consiguen reducir la susceptibilidad a interrupciones como apagones o desastres naturales. Por otra parte, e incluyendo términos económicos, la inversión en energías renovables genera empleo local en la construcción, operación y mantenimiento de instalaciones, así como en la investigación y desarrollo de tecnologías renovables. Además, fomenta la innovación y la competitividad económica en sectores relacionados con la energía. Por último, muchos gobiernos establecen objetivos y políticas de incentivos para cumplir con compromisos internacionales de reducción de emisiones, como el Acuerdo de París, así como para cumplir con regulaciones nacionales que exigen reducciones en la huella de carbono. Y las fuentes de energía limpia son un pilar fundamental para abordar el desafío del cambio climático ya que produce menos emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles.

Figura 1. Préstamos de proyectos energías renovables vs. proyectos combustibles fósiles.



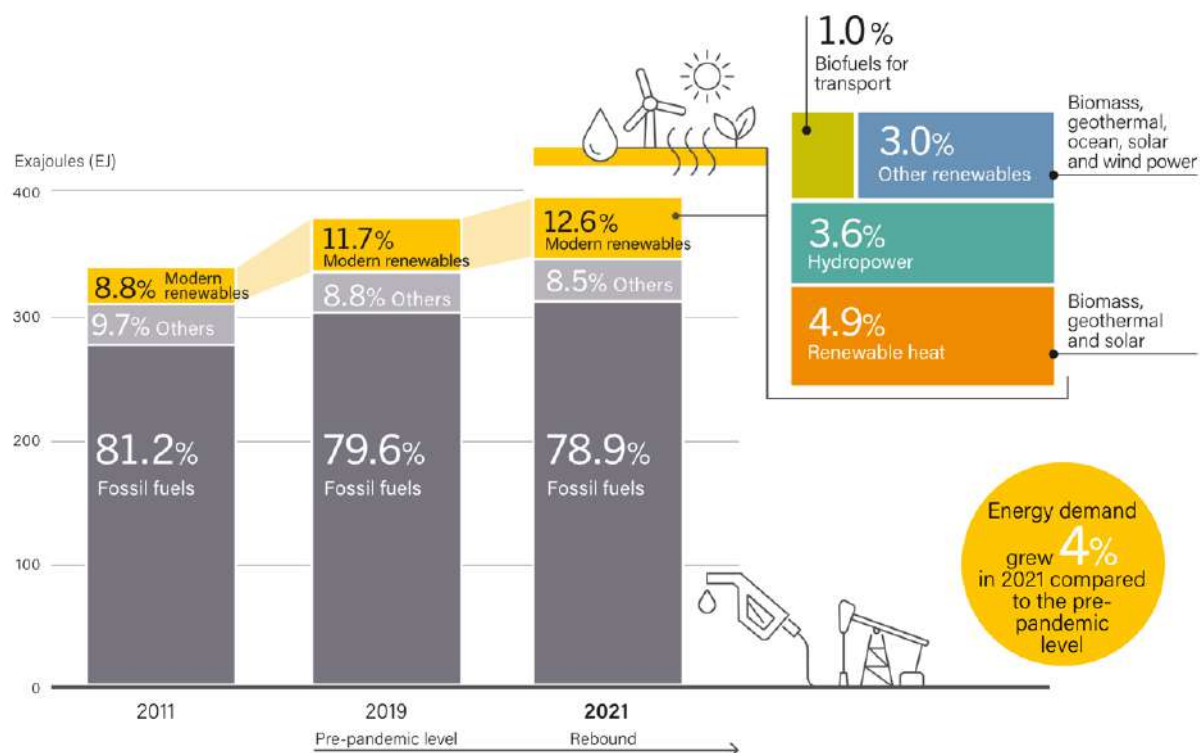
Nota: Adaptado de "Renewables 2023 Global Status Report: Global Overview" (p. 35), por REN21, 2023, Renewables 2023 Global Status Report.

Haciendo foco a la otra cara de la moneda y dejando de lado la inversión y la generación de energía, podemos comprobar que el consumo de energías renovables también está en auge. Tanto particulares como empresas o gobiernos abogan cada vez más por usar en su día a día energías renovables frente a las convencionales, entre ellas podemos encontrar energías geotérmicas, solares, eólicas o marinas. En la figura 2 aparece claramente el aumento de la demanda que ha supuesto el uso de este tipo de energías. Sumando así una razón más para la inversión de bancos, empresas y gobiernos.

Respaldando estos argumentos, la organización intergubernamental IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), afirma taxativamente en su página web mediante un comunicado de prensa del 21/03/2023 que "la generación de electricidad renovable en 2022 confirma la tendencia al alza de las renovables frente a la disminución de la capacidad nueva basada en combustibles fósiles", la IRENA apoya sus declaraciones en datos extraídos de su informe sobre las Estadísticas de capacidad renovable 2023. Este comunicado sitúa el foco de crecimiento en Asia,

Europa y América, siendo el continente asiático el que encabeza la lista con la mayor tasa de capacidad renovable con un total de 1,63 teravatios, es decir un incremento de 141 GW (IRENA, 2023). Europa, por su parte obtuvo la segunda posición con un crecimiento de 57,3 GW.

Figura 2. Consumo total de energía final por fuente, 2011, 2019 y 2021



Nota: Adaptado de "Renewables 2023 Global Status Report: Global Overview" (p. 14), por REN21, 2023, Renewables 2023 Global Status Report.

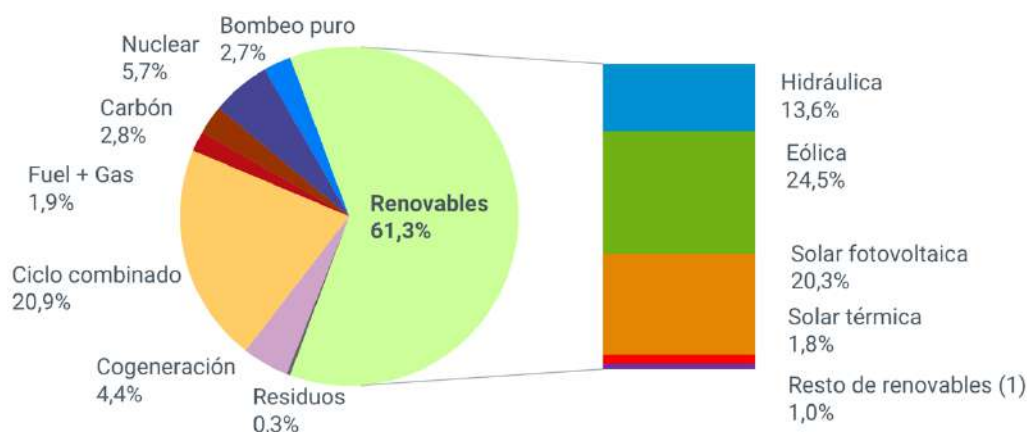
En un plano nacional, España se sitúa como el octavo país del mundo en capacidad total de energía renovable, encabezando las listas de energía solar fotovoltaica y eólica. Con un total de 28,2 GW de capacidad eólica, y en 2021 alcanzó los 4,9 GW de capacidad añadida gracias a la energía solar fotovoltaica, un 44% más que en 2020. Solo España supuso el 3% del aumento mundial de energía solar fotovoltaica el pasado año. (Ministerio para la Transformación Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

La inversión en energías renovables en España ha sido respaldada con la presentación en España de los nuevos objetivos hasta 2030 delineados en el borrador del PNIEC 2023-2030, que apunta

a un 48% de renovables respecto al consumo final de energía y un 81% de energía renovable en la generación eléctrica (Red eléctrica, 2024, p2). Finalmente hay que destacar que el parque de generación con fuentes de energía renovables español, a finales de 2023, alcanzó su récord histórico del 50,3 % de la generación total, llegando a 77.039 MW.

Con respecto a otros años, en el estudio elaborado por Red Eléctrica (2024), observamos como en el año 2023, España ha seguido creciendo e incrementando la potencia instalada renovable con un 8,8 % respecto al año anterior, es decir, un aumento de 6.261 MW. En la figura 3 podemos ver claramente como las fuentes de las distintas potencias instaladas en España en 2023, suponen el 61,3% del parque generador de energía eléctrica en España siendo las tres principales: la eólica (24,5%), la solar (20,3%) y la hidráulica (13,6%).

Figura 3. Estructura de potencias instaladas en % en España en 2023.



Nota: Adaptado de "Informe del Sistema Eléctrico: Informe resumen de energías renovables 2023." (p. 4), por Red eléctrica, 2024.

Como se puede observar en la figura 3 (justo arriba del párrafo), la clasificación la encabeza la energía eólica dentro del territorio nacional. España se sitúa quinto en la clasificación a nivel mundial de potencia eólica instalada, tras China, Estados Unidos, Alemania e India, y segundo en Europa por detrás de Alemania. Según la Asociación Empresarial Eólica, desde ahora AEE, esta fuente de energía sostenible ha sido la primera fuente de generación eléctrica en España en 2023, con más de 30.000

MW de potencia acumulada. Convirtiéndose en la primera fuente de generación eléctrica en España en 2023, consiguiendo superar hasta el 24% de cobertura de la demanda (AEE, 2024). La aportación que hace este sector al PIB es de 5.896 millones de euros, que supone el 0,50% del PIB español, creando un total de 39.015 de empleos (sumando empleos directos e indirectos), un 14% más que en 2021. En el Anexo A, se puede encontrar una Infografía detallada con las principales cifras del sector eólico en España del 2024, que permitirá al lector formar una idea más clara y detallada de los beneficios que aporta este sector al tejido económico de este país.

Según datos de la AEE, actualmente existen aproximadamente 22.000 aerogeneradores en España, en la figura 4, podemos observar un mapa con los MW totales generados por cada comunidad autónoma, cuyo total implica que los parques eólicos generan más de 61.000 GWh eólicos. Sin embargo y a pesar de instalarse en 2022 1.640 MW eólicos, nos encontramos aún muy por debajo de los 4 GW que sería necesario instalar para poder llegar al objetivo propuesto en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) remitida a la Comisión Europea para su aprobación para 20230 de 62 GW. Este objetivo permitiría cubrir el consumo directo de los hogares y empresas, así como los consumos industriales de sectores clave como el hidrógeno renovable.

Una muestra del compromiso de España con la energía eólica es la aprobación el 10 de diciembre de 2021 por parte del Consejo de Ministros de la Hoja de ruta para el Desarrollo de la Eólica marina y de las energías del mar en España propuesta por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, esta estrategia pretende potenciar el liderazgo español en el desarrollo tecnológico y de la I+D de las fuentes limpias que aprovechan los recursos naturales marinos, haciendo foco en la energía eólica.

Figura 4. Mapa de MW totales por comunidades, 2024.



Nota: Adaptado de la página web: Asociación Empresarial Eólica (2024). La eólica en España.

La mencionada Estrategia incluye 20 líneas de acción con el propósito de lograr entre 1 y 3 GW de capacidad de energía eólica marina flotante para el 2030, lo que representa hasta el 40% del objetivo de la Unión Europea para el final de la década. Asimismo, se contempla una capacidad de hasta 60 MW de otras formas de energía marina en fase pre-comercial, como la energía de las olas o de las mareas. Entre las medidas previstas se encuentra la asignación de al menos 200 millones de euros hasta el año 2023, así como la evaluación de las necesidades de infraestructura portuaria, donde se estima una inversión de entre 500 y 1.000 millones para satisfacer los nuevos requisitos logísticos. Toda esta información se puede constatar de forma abierta en la página oficial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Sin embargo, la inversión en la energía eólica no se queda en un plano nacional, y es que, según A. Franke (2024) investigador de la empresa S&P Global, los países de la UE añadirán 29 GW de energía eólica cada año hasta 2030, se prevé un 380 GW de capacidad eólica instalada en la UE para finales de 2030. El próximo año podría registrarse un crecimiento récord, según las previsiones tanto de WindEurope como de S&P Global, una de las razones podría ser que las nuevas normas de la UE en

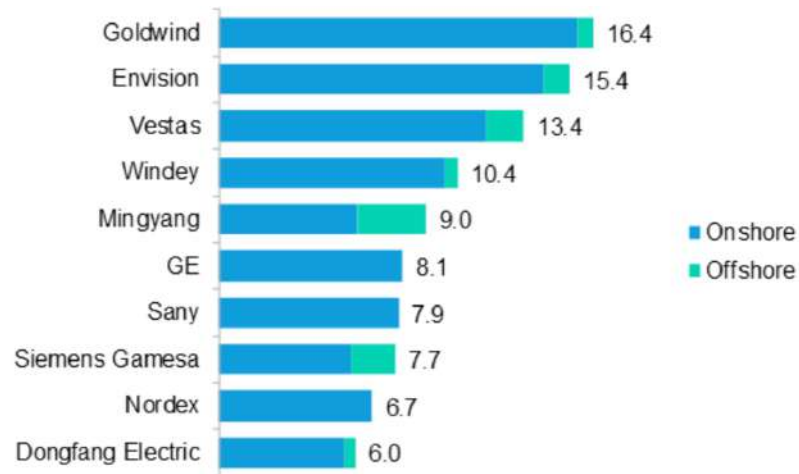
materia de permisos han impulsado el volumen de permisos para nuevos parques eólicos, especialmente en Alemania y España. Los precios de captura de la energía eólica terrestre alemana en 2023 cayeron un 54% interanual, hasta 78,57 euros/MWh, según las evaluaciones de Platts de S&P Global. Esta disminución en los precios puede tener diversas implicaciones, como un aumento en la competitividad de la energía eólica terrestre en el mercado energético, una mayor accesibilidad para los consumidores y una posible reducción en los costos de generación de energía.

Y es que estas inversiones e interés en el mercado eólico a nivel europeo tienen justificación en el retorno que este sector ofrece, y es que según compartió Franke en su artículo el 02 enero del 2024 en S&P Global y basándose en datos de WindEurope, la producción de energía eólica en Europa aumentó considerablemente en diciembre, alcanzando un récord de 62,9 TWh, lo que representa un aumento del 43% respecto al año anterior. A este se suman varios países que establecieron récords máximos durante ese mismo mes, con un promedio de 139 GW. Franke concluye afirmando que desde S&P Global Commodity Insights, el pronóstico para la producción eólica de 2024 es que se encuentre aproximadamente 5 GW más alta en 10 mercados principales de Europa occidental y meridional.

Se ha podido comprobar la tendencia de inversión respecto a las energías renovables, concretamente la energía eólica, y es que ésta se encuentra al frente de las inversiones de las energías renovables como consecuencia de todo lo expuesto anteriormente. Estas inversiones y este interés repercuten no solo en las propias empresas energéticas sino también en todos aquellos productos y servicios relacionados de forma directa o indirecta con este sector. Por ejemplo, el mercado de construcción de aerogeneradores ha sufrido un incremento de inversión directamente relacionado con el auge de la energía eólica, empresas como Goldwind, Envision o Vestas, siendo este último el único fabricante europeo entre los cinco primeros (en la figura 5 se muestra un gráfico de las mayores productoras de aerogeneradores del 2023), han sido actores y responsables en la instalación de energía eólica en 2023, consiguiendo el récord con 118 GW (Oktavia Catsaros, 2024). Para poder entender mejor el impacto que ha tenido el crecimiento del sector eólico, Goldwind, la empresa que

encabeza la clasificación registró unas ventas de 50.243,73 millones de CNY frente a los 46.253,53 millones de CNY de hace un año según datos públicos del mercado.

Figura 5. Clasificación global del mercado de la construcción de aerogeneradores.



Nota: Extraído del blog: BloombergNEF (2024).

Otros de los sectores afectados por el auge del mercado eólico son las empresas que fabrican componentes y equipos destinados a la construcción de aerogeneradores, proveedores de servicios y consultorías, empresas de construcción, empresas de transporte y logística o compañías de servicio de mantenimiento.

El presente trabajo va a centrarse sobre este último sector directamente relacionado con el mercado del mantenimiento de los aerogeneradores. Actualmente existen empresas especializadas en el mantenimiento de aerogeneradores que ofrecen una amplia gama de servicios que garantizan el funcionamiento óptimo de los parques eólicos. Algunas de estas empresas se centran exclusivamente en el mantenimiento de aerogeneradores, mientras que otras pueden ofrecer servicios adicionales, como servicios de operación y mantenimiento (O&M) completos para parques eólicos. Algunos ejemplos de empresas dedicadas al mantenimiento de aerogeneradores son:

- Vestas Service: Una división de Vestas, una de las principales empresas fabricantes de turbinas eólicas mencionada anteriormente que ofrece servicios de mantenimiento y reparación en todo el mundo.
- Siemens Gamesa Service: Otra división de un importante fabricante de turbinas eólicas que proporciona servicios de mantenimiento y soluciones de O&M para parques eólicos.
- Nordex Acciona Service: Ofrece servicios de mantenimiento y reparación para turbinas eólicas Nordex y Acciona en todo el mundo.
- GE Renewable Energy Services: Proporciona una variedad de servicios de mantenimiento y soluciones de O&M para turbinas eólicas GE en todo el mundo.
- Iberdrola: Una de las principales empresas de mantenimiento de parques eólicos a nivel mundial, se especializa en el mantenimiento preventivo y correctivo de turbinas eólicas. Pionera en el uso de drones pilotados por operarios para el mantenimiento de sus parques eólicos para detectar daños estructurales en lugares de difícil acceso.
- Copenhagen Infrastructure Partners (CIP): Empresa danesa reconocida por su experiencia en el mantenimiento y la reparación de parques eólicos tanto en tierra como en alta mar.

Las principales empresas energéticas que poseen campos eólicos en España como Iberdrola, Acciona o Siemens Gamesa tienen su propio servicio de mantenimiento, por lo que no requieren de servicios externos para efectuar estos trabajos. Sin embargo, otras como Naturgy externaliza el mantenimiento contratando la compañía GE Renewable Energy Services desde el 2020.

El mantenimiento actual de los aerogeneradores y las turbinas, con excepción de Iberdrola, es desarrollado íntegramente por operarios, que se encargan de revisar periódicamente la base, torre, la góndola y palas. En el apéndice B se podrá encontrar una figura que detalla las distintas partes del aerogenerador. Entre estas tareas se encuentra supervisión visual y revisión con la finalidad de comprobar el estado de las distintas partes y tareas de tornillería, engrase, mantenimiento eléctrico la naturaleza de estas tareas se pueden encontrar detalladas de forma más exhaustiva en la tabla 1.

El mantenimiento de un aerogenerador puede implicar ciertos riesgos para los operarios que realizan estas tareas. Algunos de los riesgos potenciales pueden ser: las alturas elevadas que aumentan el riesgo de caídas y lesiones graves en caso de resbalones o fallos en el equipo de seguridad; condiciones climáticas adversas, especialmente viento fuerte, aumentando el riesgo de accidentes; desprendimientos de objetos como herramientas, piezas de equipos o fragmentos de materiales.

Tabla 1. Principales tareas de mantenimiento de un aerogenerador por operarios.

Partes	Actividad de mantenimiento
Base	Tareas de apriete de tornillería, tareas eléctricas, tareas de limpieza, revisión de tornillos que unen la base con la cimentación, tareas de revisión del cableado eléctrico y de las conexiones de entrada o salida
Torre	Tareas de mantenimiento de tipo mecánico (apriete de tornillos, etc.), tareas eléctricas (verificación e inspección de los diferentes elementos de este), tareas de mantenimiento mecánico (apriete de tornillos, engrase de rodamientos, cambio de piezas de freno, etc.).
Góndola	Elevación de equipos y herramientas mediante polipasto o puente-grúa, Engrase del rodamiento del eje lento, Inspección engranajes, sustitución filtros, en la multiplicadora, Comprobación de elementos a presión del circuito hidráulico, que contiene un fluido y gas a presión, revisión del sistema de freno y elementos del eje rápido, mantenimiento eléctrico de alta o baja tensión en el generador, comprobación del apriete de terminales de conductores eléctricos, cambio de escobillas de conexión, limpieza y trabajos eléctricos en armario de baja tensión.
Palas	Mantenimiento mecánico (apriete de tornillos de unión del buje con la góndola y de las palas con el buje, engrase de rodamientos de giro de las palas, comprobación del punto de referencia de las palas, etc.), mantenimiento del circuito hidráulico (comprobación de conductos, válvulas de seguridad, presión en acumuladores de nitrógeno, etc.), mantenimiento eléctrico de cuadros eléctricos del interior del buje o de circuitos eléctricos, inspección visual de la fibra, limpieza, Inspección visual de la fibra, reparaciones de grietas mediante lijado de fibra y aplicación de resinas.

Nota: Elaboración propia a partir de información detallada en la Nota Técnica de Prevención del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (2014)

Sin embargo, el mantenimiento realizado únicamente por operarios no solo constituye un riesgo para los trabajadores, también puede suponer un problema para la empresa energética, ya que la frecuencia con la que se hacen los mantenimientos preventivos es mínima por el coste y riesgo que

supone, aumentando así la posibilidad de roturas o averías en los aerogeneradores, en suma, el error humano puede alimentar esta posibilidad de fallos. El impacto que puede tener un aerogenerador averiado en una empresa energética supone una pérdida económica teniendo en cuenta que este activo estará fuera de servicio durante el periodo que dure el reconocimiento del molino, la detección del fallo, la petición de la parte averiada, envío de material y cambio de esta.

Por ello el uso de las innovaciones tecnológicas más punteras puede reducir tanto el riesgo para los operarios, como las averías no repentinas derivadas de un desgaste, golpe, grieta o similar. Herramientas como la inteligencia artificial, machine learning, el Internet of Things (IoT) o técnicas de big data unido al estudio del mantenimiento manual y rudimentario actual proporcionarán el marco idóneo para el desarrollo de la solución más completa del sector.

Objetivo

Tras analizar los datos expuestos anteriormente, se ha trabajado en una solución centrada en ofrecer una alternativa para el mantenimiento de los aerogeneradores. Este proyecto tiene distintos objetivos, siendo los dos principales: La optimización de la eficiencia del mantenimiento de aerogeneradores y la reducción de las averías apostando por el mantenimiento predictivo y preventivo. Por otra parte, también se ha trabajado para reducir los riesgos a los que están expuestos actualmente los operarios.

La propuesta que se va a presentar a continuación se ha denominado e-Preve, y está compuesta por un dron autónomo (e-Preve N1), una estación integral para el aterrizaje, carga y resguardo (e-Preve N1 Box), y una plataforma de recogida y análisis de datos (e-Preve Air Data).

Seguidamente, se proporciona un resumen conciso del funcionamiento de e-Preve, precediendo a una exposición más detallada y específica. Se instala la e-Preve N1 Box (estación) en la góndola de uno de cada cinco aerogeneradores, en el interior de la estación se encuentra el dron e-Preve N1 programado para realizar inspecciones periódicas sin necesidad de supervisión constante, siendo siempre a la base de carga el punto de salida y regreso. Durante una inspección, los sensores

y cámaras de e-Preve N1 son capaces de analizar la temperatura y detectar roturas desde una distancia de 1 metro, puede detectar también su profundidad evaluando así su gravedad. Las fotografías tomadas se almacenan en la memoria del dron y se envían a la nube, donde el sistema de inteligencia artificial (IA) las analizará y enviará los resultados a la plataforma e-Preve AirData, en esta plataforma aparecerán los datos recogidos minutos después de ser tomados, generando acciones y/o recomendaciones como parte del mantenimiento preventivo. Con estas conclusiones y el uso de big data y machine learning, la plataforma podrá detectar anomalías entre los datos recogidos.

Para la elaboración del diseño, estructura y funcionalidades de e-preve N1 y e-Preve N1 Box, se analizaron distintos *painpoints*¹ a los que se necesitaba aportar solución. Situaciones y problemas que e-Preve debía superar para cumplir con los requisitos mínimos a los que esta solución se compromete, satisfaciendo así las necesidades y expectativas y ofreciendo un valor significativo a sus clientes y usuarios. Entre ellos se encuentran necesidades estructurales como soportar condiciones climáticas adversas durante largos periodos de tiempo (tanto el dron como la estación de carga), o necesidad de una estabilidad de vuelo casi milimétrica para evitar sesgar los resultados de la inspección. También se incluye en esta lista protocolos de emergencia ante aves o problemas en la autonomía de la batería. En la tabla 2 se detalla el listado completo de *painpoints* evaluados con sus respectivas líneas de actuación. Es importante destacar que, el análisis del listado de los *painpoints* sirvió como base para la elección de materiales y componentes que se utilizarán el dron e-Preve N1.

Por otra parte, y en cuanto al software Air Data, se realizó un trabajo exhaustivo para conseguir crear una interfaz intuitiva, *user-friendly* y atractiva para el operario que debe realizar la inspección. De esta forma se facilita la lectura y comprensión de los datos, ya que, como se ha comentado anteriormente, uno de los objetivos principales del proyecto se basa en optimizar la eficiencia del mantenimiento.

¹ Un *painpoint* define un problema, frustración o insatisfacción que un proyecto debe resolver para poder alcanzar su objetivo de forma efectiva, generando un impacto positivo en sus usuarios o clientes.

Tabla 2. Principales puntos de dolor y líneas de actuación para cada uno de ellos.

Painpoints	Líneas de actuación
E-Preve N1 deberá de tener la capacidad para mantener la precisión durante su análisis sin ningún tipo de interrupción.	La estructura del dron ha sido diseñada en base al aerodinamismo para que no haya interrupción en el vuelo.
E-Preve N1 deberá soportar rachas de viento, sin que su análisis se vea sesgado por los movimientos del viento.	Se han definido los límites a los que el dron puede funcionar y se ha reforzado la estabilización durante su funcionamiento.
E-Preve N1 Box deberá soportar condiciones climáticas adversas (fuertes rachas, temperaturas extremas y lluvias) durante largos periodos de tiempo sin que ello afecte a su integridad y la del dron.	El diseño se ha realizado teniendo en cuenta estos puntos, consiguiendo tener un diseño aerodinámico, impermeable y resistente al entorno. Para proteger los circuitos de carga y al dron.
E-Preve N1 deberá tener sensores con resultados exactos minimizando al máximo el margen de error.	Se han incorporado sensores de precisión, capaces de detectar incluso micro-roturas en la superficie de las aspas de un aerogenerador.
E-Preve N1 deberá ser capaz de recoger los datos de las hélices necesarios para crear una imagen 3D, que muestre al detalle el estado de las hélices, incluyendo las fisuras.	Se la ha incrementado el tiempo de autonomía para que el dron pueda recoger los datos necesarios.
E-Preve N1 deberá contar con un protocolo de actuación de emergencia en caso de prever una colisión con algún ave.	Se ha definido un movimiento de emergencia que se activará en caso de aproximación de un ave.
E-Preve N1 deberá soportar la presencia de líquidos y humedad en su superficie.	La estructura del dron se ha diseñado con materiales impermeables.
E-Preve N1 deberá iniciar su inspección cuando las palas del aerogenerador estén en la posición considerada óptima.	Mediante el control de giro de las hélices se pueden dirigir las palas hasta que queden posicionadas de la manera requerida.
E-Preve N1, a pesar de tener un ciclo de carga preestablecido, deberá ser capaz de prever el nivel de batería restante para poder llegar siempre a una estación de carga.	La autonomía del dron está definida para que cubra las inspecciones y vuelva a la base de carga. Se ha programado un protocolo para aquellos casos en los que el nivel de carga no le permita cubrir su recorrido.
E-Preve N1 deberá ser localizable en todo momento. Incluso sin batería.	El dron tendrá un rastreador GPS incrustado en su estructura, con una carga independiente y cuya autonomía sea considerablemente superior.

Actualmente el uso de drones en distintos sectores es una práctica ya ampliamente extendida, ya que empresas y gobiernos se han hecho eco de los beneficios que esta herramienta ofrece. Dentro del mercado de e-Preve (uso de drones para inspección y mantenimiento) operan distintas empresas, aportando drones realmente funcionales, eficientes y capaces de recoger información de valor mediante cámaras y sensores. Sin embargo, la presente solución se ha diseñado para que sea la herramienta más completa y efectiva del mercado.

En la tabla 3 se presenta una comparativa entre las empresas consideradas como competencia, detallando qué compañías proporcionan determinadas funcionalidades clave inherentes a un dron de inspección. Este análisis permite identificar y evaluar las capacidades distintivas de cada empresa en términos de las características técnicas y operativas. La distinción más relevante que se observa es la autonomía a la hora de realizar las inspecciones, ya que permite operar sin necesidad de ser controlado y supervisado constantemente por un encargado; esta funcionalidad permite realizar un mayor número de inspecciones a un coste inferior.

Por otro lado, otra característica distintiva de e-Preve reside en el uso de tecnologías punteras tales como el Edge Computing, permitiendo al dron realizar un pre-tratamiento de los datos recogidos desde el propio sensor antes de ser enviados a e-Preve AirData. Funcionalidades como la capacidad de análisis de la vegetación, la descarga masiva de datos o el sistema de autocarga sitúan a e-Preve en una posición privilegiada dentro del mercado.

En contraposición, la capacidad de reparar fisuras que ofrecen empresas como Ebre Dron, Emin Energy o GDES, está fuera del alcance del dron diseñado por e-Preve. Por lo que la reparación debería ser efectuada por otro dron externo o un operario. Sin embargo, este proyecto está en constante adaptación y actualización, por lo que no se descarta poder ofrecer una alternativa eficiente para este caso o incluso incluirlo más adelante como una funcionalidad más de e-Preve N1.

Tabla 3. Comparativa de las funcionalidades de la competencia de e-Preve.

Funcionalidades	Ebre Dron	Emin Energy	Sky Drones	GDES	Aero Scan	e-Preve
Drone 100% Autónomo	No	No	No	No	No	Si
Detección Anomalías	Si	No	Si	Si	No	Si
Plataforma Integrible	Si	No	No	Si	No	Si
Análisis Térmico y Vibración	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Edge Computing	No	Si	No	No	No	Si
Sistema de Inteligencia Artificial	Si	No	Si	Si	No	Si
Sistema de Prevención	No	No	Si	No	No	Si
Software Fácil e Intuitivo	No	No	No	No	No	Si
Sistemas de Autocarga	No	No	No	No	No	Si
Reparación de Fisuras	Si	Si	No	Si	No	No
Análisis de Vegetación	Si	No	No	No	Si	Si
Sistema de Coordenadas Configurable	No	No	No	No	No	Si
Descarga Masiva de Datos	Si	No	No	No	No	Si
Configuración mediante plataforma	No	No	No	No	No	Si
Carga Instantánea	No	No	No	No	No	Si
Análisis Vía Ultrasonido	No	No	No	Si	Si	Si

Fuente: elaboración propia

Para que esta solución sea capaz de ofrecer todos los servicios mencionados anteriormente, e-Preve N1 está dotado de una cámara térmica, un sensor de ultrasonido, una cámara de video y fotografía con IA, de tan solo 7'5g (con wifi, anti-shake, imagen 4k, conexión USB, ND filter y una aplicación web para ver los datos durante su escaneo), una memoria de alta capacidad, un total de seis motores de alta potencia (800W/motor) con un peso de 132 gramos cada uno y un tamaño reducido de 42.5 x 37.5 (permitiendo sostener toda la infraestructura sin que afecte a su capacidad de vuelo y estabilidad). Por otra parte, el Arduino implantado a este dron tiene unas medidas de 35mm

x 35mm x 35mm y un peso de 4,9g; uno de los más finos del mercado, que permite un almacenamiento de 2MB. Posee también una batería de larga duración, que sumada a la ligereza de sus componentes, consiguen una autonomía de carga aproximada de entre 20-30 minutos de vuelo, garantizando así un escaneo completo de los molinos y sus aspas. Finalmente destacar que todos los componentes electrónicos de e-Preve N1 son de alta calidad y precisión SMT, y que todos los componentes escogidos para el desarrollo de este dron son livianos, para así facilitar el vuelo y la estabilidad.

Debido a las cámaras de IA y el sensor de ultrasonido, e-Preve N1 es capaz de detectar tanto roturas pequeñas como roturas grandes y la profundidad de estas desde una distancia de 1 metro, pudiendo etiquetar la gravedad de la grieta. Esto es posible porque los sensores y la cámara están conectadas, de forma que, en el momento en el que la cámara detecta una fisura y/o rotura, el dron se acercará al punto crítico y será el sensor de ultrasonido y el sensor térmico quienes analizarán con detalle la fisura detectada para definir su profundidad y gravedad.

Estos datos, junto con las fotografías, serán directamente almacenados en la memoria de alta capacidad del dron y enviados a la nube, donde serán tratados por un software con IA, estos resultados se enviarán a la plataforma e-Preve AirData, donde el usuario final podrá conocer los datos recogidos minutos después de ser tomados. Todas estas características serán detalladas y explicadas de forma más exhaustiva en el siguiente apartado.

En la figura 6, se presenta el diseño del conjunto de soluciones dentro de e-Preve (e-Preve N1, e-Preve N1 Box y e-Preve AirData), atendiendo, como se ha explicado en apartados posteriores, a aspectos como el aerodinamismo, las funcionalidades requeridas, los materiales óptimos o, en caso del software, el diseño intuitivo y llamativo. En el anexo C se adjuntan más renders desde distintas perspectivas para aportar más información sobre el diseño y pantallas del programa AirData.

Figura 6. Diseños renderizados de los distintos productos de e-Preve.



Notas: A la izquierda el dron e-Preve N1 aterrizado en las guías de la estación de carga e-Preve N1 Box y a punto de entrar para iniciar su ciclo de carga y resguardo. A la derecha tres de las pantallas principales del programa e-Preve AirData.

e-Preve N1

e-Preve N1, como se ha comentado a lo largo de este trabajo, es un dron diseñado para llevar a cabo el mantenimiento autónomo de aerogeneradores. Su desarrollo se fundamenta en una exhaustiva investigación de las necesidades del mercado de mantenimiento, así como en la integración de las últimas tecnologías disponibles en el sector.

El diseño del e-Preve N1 incorpora funcionalidades avanzadas que aprovechan los componentes tecnológicos más novedosos, incluyendo sensores y cámaras con capacidades de inteligencia artificial. Asimismo, se han implementado técnicas innovadoras como el IoT, el análisis de Big Data y Machine Learning para potenciar su desempeño y eficacia. Para validar la efectividad del diseño que se va a presentar en este mismo apartado, se han realizado simulaciones utilizando herramientas como AnyLogic, garantizando la toma de decisiones fundamentadas en resultados concretos.

El e-Preve N1 se enfoca en maximizar la eficiencia y el rendimiento durante sus operaciones en el campo. Una de las claves para lograr esto es su sistema de propulsión avanzado, que utiliza motores eléctricos de alta potencia y una aerodinámica optimizada. Estas características permiten al dron desplazarse de manera ágil y consumir la cantidad justa de energía para mantener un vuelo eficiente.

El sistema de gestión de energía del e-Preve N1 supervisa y optimiza continuamente el consumo de energía durante el vuelo. Utiliza algoritmos avanzados para ajustar de forma dinámica la potencia y la eficiencia de los motores en función de las condiciones de vuelo y las tareas realizadas. Esto permite un uso inteligente de la energía y contribuye a maximizar el tiempo de vuelo del dron. Uno de los desafíos principales del proyecto es optimizar el tiempo necesario para analizar cada aerogenerador, de manera que el dron pueda cumplir con el objetivo de revisar al menos dos aerogeneradores en un período máximo de 25 minutos (que es el tiempo de autonomía de vuelo). Tras un riguroso análisis y considerando diferentes variables (como la distancia entre aerogeneradores, la eficiencia de los algoritmos implementados en el dron, el área a explorar, el proceso de conducción de las aspas hasta que se alcanzan la posición idónea para la inspección, entre otras) se ha determinado que el tiempo estimado para el análisis de un solo aerogenerador es de aproximadamente 10 minutos.

Teniendo en cuenta este tiempo estimado, se ha diseñado una ruta óptima de vuelo para el dron, que permitirá cubrir dos aerogeneradores en el tiempo máximo establecido. Esta ruta se ha planificado considerando la disposición de los aerogeneradores, la velocidad de vuelo y la capacidad de maniobra del dron. Con este enfoque, el dron será capaz de cumplir con los requerimientos del vuelo del proyecto (analizar dos aerogeneradores durante el tiempo de vuelo máximo de 25 minutos).

Por otra parte, un factor clave para garantizar la calidad de las imágenes capturadas durante el mantenimiento predictivo de los aerogeneradores es la estabilidad, ya que cualquier movimiento brusco o vibración puede distorsionar la imagen y afectar la precisión de los resultados obtenidos. La estabilidad del dron se puede ver afectada por diversos factores externos, provocando que el dron se desvíe de su trayectoria prevista o sufra movimientos inesperados. De la misma forma, puede afectar a la calidad de la cámara y el sistema de transmisión de imágenes, ya que si la cámara no está bien calibrada o el sistema de transmisión sufre interferencias, la imagen capturada puede ser borrosa o distorsionada.

Para garantizar la estabilidad del dron, se utilizan diversos sistemas de estabilización, como los giroscopios y los acelerómetros. Estos sistemas permiten al dron mantener su posición y orientación en el espacio, incluso en condiciones adversas.

Riesgos Para El Dron

Como se explicaba, la estabilidad del dron es un punto clave, sin embargo, existen distintos escenarios críticos que pueden afectar al buen funcionamiento de la solución. Por ello, se ha realizado un análisis exhaustivo de los riesgos asociados al uso del dron, el cual ha sido fundamental para identificar las funcionalidades secundarias requeridas. Se han considerado diversas situaciones críticas, como la inestabilidad durante el vuelo, errores de programación, y la presencia de obstrucciones en cámaras o sensores. La enumeración detallada de estos escenarios ha conducido a la elaboración de un listado exhaustivo de funcionalidades que el dron debe poseer para abordar eficazmente cada uno de estos desafíos y condiciones. En el apéndice D se puede encontrar una tabla con la lista completa con todos los riesgos evaluados y sus respectivas descripciones, en los que se incluye un contexto del riesgo y las medidas adoptadas por e-Preve para que estas situaciones no supongan un riesgo. El objetivo primordial ha sido el desarrollo del prototipo más completo del mercado, con un enfoque en su contribución al avance del sector de las energías sostenibles.

Por otra parte, las condiciones meteorológicas suponen también un desafío para el correcto funcionamiento del dron, a continuación, se explican con más detalle los escenarios críticos más importantes:

Como se ha mencionado a lo largo de este documento, el viento puede tener un gran impacto en el desempeño del dron. Dependiendo de la fuerza y dirección del viento, la estabilidad del e-Preve N1 podrá verse afectada, alterando la precisión y eficacia de las operaciones de mantenimiento predictivo. El viento puede producir cambios en la velocidad y dirección del dron, generando desvíos en su recorrido y/o se desequilibrios no deseados. Debido a que, en estas condiciones específicas con rachas de viento extremas, donde no solo no podría asegurar una inspección fiable, sino que podrá

suponer un riesgo para la integridad del dron, se toma la decisión de que cuando las rachas de viento sean superiores a 40 km/h el dron no opere. Se debe tener en cuenta que los efectos del viento en el dron pueden variar dependiendo del diseño y capacidad del propio dron, aquellos con mayor capacidad de estabilización y control serán menos susceptibles a los efectos del viento. E-Preve N1 está diseñado para que sea uno de los drones más estables del mercado dentro de los drones de peso y tamaño similar

Sin embargo, en ocasiones el viento también puede ser utilizado de manera ventajosa para mejorar la eficacia de las operaciones de mantenimiento predictivo. Por ejemplo, en condiciones de viento favorable, el dron puede volar más rápido y de manera más eficiente, lo que puede permitir una mayor cobertura en un menor tiempo. Además, en ciertas situaciones, como en caso de trabajos de inspección visual, el viento puede ser utilizado para estabilizar el dron, permitiendo obtener una mejor calidad de imagen y vídeo.

Por otra parte, la lluvia representa un factor ambiental importante que se debe considerar cuando se habla de drones diseñados para realizar inspecciones o mantenimientos. Lógicamente, los efectos de la lluvia en el dron pueden variar dependiendo de la intensidad y duración de esta, así como del diseño y capacidad del propio dron.

En primer lugar, si la lluvia es intensa, puede afectar la capacidad de vuelo debido al peso del agua acumulada sobre el dron, de forma que, si esta acumulación es considerable, podría verse afectada su capacidad de elevación y maniobrabilidad. Además, y aunque en el caso de e-Preve N1 este factor no supone un riesgo debido a su diseño y al material de los componentes, la lluvia puede causar daños en los sistemas de propulsión y componentes electrónicos, derivando en averías en el dron o fallos en el vuelo, poniendo en riesgo la seguridad de los operarios, la integridad del aerogenerador o del propio dron. Por otra parte, la lluvia también puede afectar la calidad de los datos recolectados, ya que las gotas de agua y otros elementos propios de un temporal de lluvias puede cubrir total o parcialmente la cámara afectando a la calidad de la imagen y del vídeo, dificultando la

identificación de grietas, averías o roturas en los aerogeneradores. En suma, la lluvia puede afectar los sensores del dron disminuyendo la precisión de la información recolectada.

No obstante, el diseño y protocolos de e-Preve, están ideados para que estas situaciones críticas no se conviertan en problemas. La resistencia a la lluvia el sistema avanzado de estabilización seleccionado y el protocolo de limpieza de cámaras y sensores, permite que puedan operar en condiciones adversas.

Habiendo tratado los riesgos por lluvias y rachas de viento, se presentan los problemas que puede suponer para e-Preve N1 operar en temperaturas muy bajas. Las baterías pueden perder su capacidad de carga, por lo que la vida útil de la batería puede reducirse significativamente. Además, los motores eléctricos de los drones pueden experimentar problemas de rendimiento debido a la disminución de la densidad del aire en climas fríos, lo que puede afectar su capacidad para volar y maniobrar. Otro problema que enfrentan los drones en climas fríos es la acumulación de hielo y nieve en las hélices y otros componentes del dron, y ello puede afectar su rendimiento aumentando el riesgo de errores y averías. Y hay que tener en cuenta que la humedad ambiental también puede congelarse, creando bloqueos en los componentes electrónicos del dron y, por ende, causando problemas de operación.

Para evitar estos problemas, e-Preve ha tomado medidas preventivas como seleccionar baterías de alta capacidad especializadas para temperaturas extremas, así como aislar e incluir recubrimientos resistentes al agua y la humedad en aquellas áreas en las que se encuentren la batería y otros componentes sensibles a estas condiciones. Otra alternativa la instalación de calentadores eléctricos en los motores, en este caso e-Preve ha optado por incluir calentadores y refrigeración en la estación de carga en lugar de en el propio dron.

Como conclusión para el tema de los riesgos que amenaza el correcto funcionamiento de e-Preve N1, y para asegurar el correcto rendimiento de los drones e-Preve N1; se realizarán inspecciones llevadas a cabo por operarios de forma periódica, pero siempre desde el suelo, siendo el propio dron

quien se traslade donde se encuentre el operario. Estas inspecciones se realizarán de forma muy extendida en el tiempo, ya que las propias aeronaves contarán con un sistema de autoevaluación básico para detectar errores, roturas o averías.

Prestaciones Avanzadas

Las funcionalidades que e-Preve N1 ofrece, como ya se ha detallado, se centran en la recopilación de datos e imágenes de las palas, góndola y torre del aerogenerador recogidas por sus sensores y cámaras y el posterior tratamiento de estos datos. Sin embargo, todos los componentes que posee permiten incluir entre sus funcionalidades herramientas avanzadas como por ejemplo el análisis de vegetación, permitiendo a las empresas energéticas y/o propietarias de parques eólicos monitorear y evaluar el impacto de la vegetación cercana en el rendimiento de los aerogeneradores.

La vegetación cercana a los aerogeneradores puede tener un impacto significativo en su rendimiento, pudiendo reducir la eficiencia de la generación de energía al limitar la velocidad del viento que alcanza las palas de los aerogeneradores. El análisis de la vegetación cercana se realiza mediante el uso de cámaras de alta resolución y herramientas de análisis de imágenes avanzadas, que permiten al dron detectar y medir la altura, la densidad y la distancia de la vegetación cercana a los aerogeneradores.

Para obtener estos datos, e-Preve n1 realizaría un vuelo sobre el parque eólico de forma autónoma tomando imágenes en alta resolución de la vegetación cercana a los aerogeneradores y recoger datos como la altura y densidad de la vegetación cercana a los aerogeneradores. Estas imágenes y datos se procesarían mediante algoritmos avanzados de análisis de imágenes y generarían mapas de calor en 3D que muestran la distribución de la vegetación cercana, lo que permite a los propietarios de los parques eólicos identificar las zonas de mayor concentración de vegetación. Gracias a su software con IA, la plataforma AirData podría ofrecer opciones para aprovechar el impacto de la naturaleza existente y que mejore el rendimiento de los aerogeneradores.

Otra prestación distinta a la inspección de aerogeneradores que ofrece el dron es analizar el estado de las carreteras cercanas a los aerogeneradores, aunque en este caso sería necesaria la instalación de una serie de sensores en el dron, que permitirán la detección y recopilación de información sobre las condiciones de las carreteras. Estos sensores incluirán tecnología de detección de vibraciones y acelerómetros para medir la calidad del asfalto, así como cámaras de alta resolución para capturar imágenes detalladas de la superficie de la carretera. De esta forma, el dron podría analizar las carreteras mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático. Las cámaras capturarán imágenes en alta definición de la superficie de la carretera, que luego se analizarán en busca de grietas, baches y otros defectos. El algoritmo también se entrenaría para detectar la presencia de líneas de pintura, señales de tráfico y otros elementos de la infraestructura vial.

Una vez que el dron haya capturado y analizado las imágenes de las carreteras, los datos se procesarían y se enviarían a un sistema de gestión centralizado. Este sistema utilizará técnicas de aprendizaje automático para evaluar el estado de la carretera y proporcionar una calificación de su calidad en tiempo real. La calificación se basará en una variedad de factores, incluyendo la presencia de defectos en la superficie, el grosor y la calidad del asfalto, y la integridad de la infraestructura vial. La información recopilada por el dron permitirá a los equipos de mantenimiento y planificación de la carretera tomar decisiones más informadas sobre la reparación y el mantenimiento de las carreteras cercanas a los aerogeneradores. Al monitorear el estado de las carreteras, se podrán identificar áreas problemáticas antes de que se conviertan en un riesgo para la seguridad o causen problemas de tráfico. Además, se podrán planificar las reparaciones y el mantenimiento de la carretera de manera más efectiva, lo que permitirá una mejor gestión de los recursos y una reducción de costos.

Siguiendo con más servicios alternativos que este dron puede ofrecer, esta vez centrado en la organización del área delimitada, e-Preve N1 es capaz de analizar los metros cuadrados de terreno para poder añadir nuevos aerogeneradores de manera eficiente y rentable. Para llevar a cabo esta

tarea, el dron utilizará una serie de técnicas de análisis y mapeo de terrenos que le permitirán identificar las mejores zonas para la instalación de los nuevos aerogeneradores.

En primer lugar, el dron emplea sensores de alta precisión para recopilar datos topográficos del terreno. Estos sensores podrán medir la altitud y la inclinación del terreno con gran precisión, lo que permitirá al dron generar mapas 3D del terreno con una gran fidelidad. A partir de estos mapas, el dron podrá identificar las zonas con mayor potencial para la instalación de nuevos aerogeneradores. Además, el dron utilizará cámaras de alta resolución para obtener imágenes detalladas del terreno. Estas imágenes se combinarán con los datos topográficos recopilados por los sensores para generar mapas de texturas del terreno. Estos mapas de texturas permitirán al dron identificar características importantes del terreno, como la densidad de la vegetación, la presencia de obstáculos y la calidad del suelo.

A partir de los datos recopilados por los sensores y las cámaras, el dron generará un modelo digital del terreno que le permitirá simular la instalación de los nuevos aerogeneradores. Este modelo digital permitirá al dron identificar las zonas con mayor potencial para la instalación de los nuevos aerogeneradores, así como determinar el número óptimo de aerogeneradores que se pueden instalar en cada zona.

Finalmente, el dron generará un informe detallado con los resultados de su análisis que incluirá mapas 3D y de texturas del terreno, así como recomendaciones detalladas sobre la ubicación y número de aerogeneradores que se pueden instalar en cada zona. Además, el informe incluirá estimaciones detalladas sobre los costos asociados con la instalación de los nuevos aerogeneradores, así como las ganancias esperadas a largo plazo.

Componentes Del Dron

A continuación, se detallan los distintos componentes que forman el dron e-PreveN1 divididos por secciones dependiendo de su funcionalidad.

Sección 1. Comenzando por la sección 1, encontramos la Estructura Principal y el motor. La estructura principal está formada por el kit de estructura UAV plegable reconfigurable MES de Lynxmotion este es uno de los componentes clave utilizados en el desarrollo del dron hexacóptero de e-Preve. Este kit ha sido seleccionado por sus excelentes características técnicas y su capacidad de adaptación a las necesidades específicas de los drones.

El peso total es de 819 gramos, lo que lo convierte en una estructura liviana pero resistente, lo que permite que el dron pueda volar con mayor facilidad y estabilidad. Además, el kit es plegable y reconfigurable, lo que facilita el transporte y permite una mayor versatilidad en la configuración del dron para adaptarse a diferentes necesidades. Otra de las ventajas del kit de estructura UAV plegable reconfigurable MES de Lynxmotion es su facilidad de ensamblaje. El kit incluye todas las piezas necesarias para armar la estructura del dron, lo que simplifica el proceso de construcción y reduce los tiempos de ensamblaje. Además, las piezas incluidas en el kit son de alta calidad, lo que garantiza la resistencia y durabilidad del dron. Cabe destacar que el kit de estructura UAV plegable reconfigurable MES de Lynxmotion cuenta con un precio accesible, lo que lo convierte en una opción rentable para la fabricación de drones de alta calidad. La combinación de precio y calidad ha sido uno de los factores determinantes en la selección de este kit para el desarrollo de este dron.

Se procede a explicar el diseño, funcionamiento y características de los motores. Se trata de una parte fundamental para garantizar un vuelo seguro y estable, y el motor 4114 Emax es ideal para ello. Este motor está diseñado específicamente para drones de gran magnitud, lo que significa que se han tenido en cuenta las necesidades y requisitos específicos de los drones más grandes.

La característica más importante de este motor es su perfil plano, que permite que se adapte de manera conveniente a las hélices. Esto no solo ayuda a reducir las vibraciones al mínimo, sino que también contribuye a prolongar la vida útil del motor. Las vibraciones excesivas pueden dañar los componentes internos del motor, lo que puede provocar fallos y reducir su vida útil. Además, el motor 4114 Emax tiene una gran potencia, lo que significa que puede proporcionar un empuje máximo de

1680 gramos. Esto lo hace ideal para drones de gran magnitud que requieren una gran potencia para despegar y mantenerse en el aire. También, el diámetro del eje de 4mm y las dimensiones de 35 x 46mm lo hacen compatible con una amplia variedad de drones. Otra característica importante del motor 4114 Emax es su relación de vueltas por voltio (KV). Con una relación de 340KV, este motor es capaz de proporcionar una gran cantidad de vueltas por voltio, lo que significa que puede girar a una velocidad muy alta. Finalmente destacar que permite reducir las vibraciones, su gran potencia, su tamaño y su relación de vueltas por voltio.

Sección 2. Destapamos la sección 2 con las baterías, se ha seleccionado la marca TATTU debido a su alta calidad y rendimiento en aplicaciones de alto consumo de energía, como es el caso de los drones. El modelo elegido es el TA-30C-22000-4S1P, el cual tiene una capacidad nominal de 22000mAh y una tasa de descarga máxima de 50C. Estas características permiten al dron volar durante largos períodos de tiempo y realizar operaciones de mantenimiento de aerogeneradores con una carga de batería suficiente. Además, estas baterías son ligeras en relación con su capacidad, con un peso de solo 1677g cada una, lo que permite al dron mantener una carga útil más elevada. También es importante mencionar que se han incluido dos baterías, una de repuesto, para garantizar que el dron pueda realizar su misión de mantenimiento sin interrupciones.

En cuanto al precio, en el momento en el que se redactó el presente documento, las baterías TATTU TA-30C-22000-4S1P tienen un coste de 269,99 euros cada una, lo cual puede parecer alto en comparación con otras opciones en el mercado. Sin embargo, la calidad y el rendimiento de estas baterías las hacen una opción ideal para este dron, lo que justifica su selección y su precio. Además, la batería del dron cuenta con un chip que evita la sobrecarga y los cortocircuitos. Esta característica es muy importante para garantizar la seguridad y la durabilidad de la batería. La sobrecarga y los cortocircuitos pueden dañar la batería y hacer que sea peligroso usarla, lo que puede provocar fallos y reducir su vida útil. Por lo tanto, la capacidad de evitar la sobrecarga y los cortocircuitos es una característica muy importante que se debe tener en cuenta al seleccionar una batería para un dron.

Otra característica que podemos destacar de la batería del dron de e-Preve es su capacidad de transportar una carga que equivale al 100% de su peso. Esto significa que el dron puede transportar una carga considerable sin tener que preocuparse por la pérdida de potencia o la vida útil de la batería. Esta característica hace que este dron sea ideal para su uso en situaciones en las que se requiere transportar cargas pesadas, como en la agricultura o la logística.

Siguiendo dentro de la sección 2 se pasa a hablar del medidor de amperaje, este caso se ha seleccionado el medidor GT Power RcMeter180 para el desarrollo de esta aeronave debido a su alta calidad, fiabilidad y precisión en la medición del amperaje en los sistemas eléctricos. Este dispositivo es un instrumento clave en la monitorización de la corriente eléctrica que fluye a través del dron, lo que permite una mejor gestión y control del consumo de energía y una mayor eficiencia en el vuelo.

Una de las principales ventajas del medidor de amperaje GT Power Rc Meter 180 es su rango de voltaje de 4'8-60V, lo que lo hace compatible con una amplia variedad de baterías utilizadas en drones. Esto permite que el dispositivo pueda utilizarse en diferentes modelos de drones sin necesidad de adquirir equipos adicionales para cada tipo de batería. Otra de las ventajas del medidor de amperaje GT Power Rc Meter 180 es su precisión en la medición del amperaje. Este dispositivo es capaz de medir corrientes eléctricas de hasta 180 amperios con una precisión de +/- 0.01A, lo que permite una lectura exacta y confiable de la corriente eléctrica que fluye a través del sistema del dron. Además, el medidor de amperaje GT Power Rc Meter 180 es fácil de usar, cuenta con una pantalla LCD que muestra los resultados de la medición en tiempo real. La pantalla es clara y fácil de leer, lo que facilita el monitoreo del consumo de energía durante el vuelo del dron. El precio accesible del medidor de amperaje GT Power Rc Meter 180 ha sido otro factor importante en su elección para el desarrollo de este dron. El costo de este dispositivo, en el momento de redacción del trabajo, es de 28,99 euros, lo que lo convierte en una opción rentable para la medición de amperaje en los drones.

Un componente crucial para el correcto funcionamiento del dron es el Arduino de vuelo, ya que es el cerebro que coordina todas las operaciones de la aeronave durante su vuelo. El Arduino es

un tipo de control de vuelo que se ha vuelto muy popular debido a su alta flexibilidad y capacidad de personalización. Este control de vuelo es el encargado de ejecutar los procesos lógicos que coordinan el dron durante su operación.

El Arduino funciona a 12 voltios y cuenta con 12 entradas analógicas y 20 pines I/O digitales. Esta flexibilidad en las entradas y salidas hace que sea muy fácil conectar otros componentes electrónicos al control de vuelo. Además, el dispositivo presenta unas dimensiones de 35x35x35mm y tiene un peso de 4'9 g, lo que lo hace muy compacto y ligero. El control de vuelo del Arduino es altamente personalizable, lo que significa que se puede programar para adaptarse a las necesidades específicas del dron. Esto permite que los usuarios ajusten el control de vuelo para maximizar el rendimiento del dron en diferentes situaciones, como vuelos de larga duración, vuelos de alta velocidad o maniobras complejas.

Algunas de las especificaciones técnicas del Arduino seleccionado son:

- Firmware disponible para controladoras de vuelo: Cleanflight, Betaflight o Baseflight.
- Micro Conectores de cable a placa.
- Giroscopio/acelerómetro integrado, magnetómetro también incluye barómetro y magnetómetro.
- Blackbox 2 MB de datos almacenables.
- Delgado y ultra compacto especial para construcciones ajustadas.
- Componentes electrónicos de calidad y SMT de alta precisión.
- Procesador STM32 F303.
- Capacidad de soportar Quas, Tri, Hex, Octo, varios multirrotores.
- Entrada RC flexible: PPM, SBUS no invertido, PM.

Sección 3. Inaugurando la tercera sección, se encuentra el variador, uno de los componentes fundamentales en el diseño de cualquier dron, ya que se encarga de regular la potencia que llega a los motores, permitiendo que estos giren a distintas velocidades y generen el empuje necesario para

mantener el dron en el aire. En el caso de este dron, se ha optado por el variador Scorpion TRIUNUS 06-120A ESC, un modelo que destaca por su alta eficiencia, su robustez y su capacidad para soportar corrientes de hasta 150 amperios.

Una de las principales ventajas del variador Scorpion TRIUNUS es su alta eficiencia, que permite obtener el máximo rendimiento de las baterías y reducir la cantidad de calor que se genera durante el vuelo. Gracias a esto, se consigue una mayor autonomía y fiabilidad en el funcionamiento del dron. Además, este variador cuenta con una carcasa de aluminio que protege los circuitos electrónicos de posibles golpes y caídas, lo que aumenta su vida útil y su resistencia a las condiciones ambientales adversas. Otra característica destacada del variador Scorpion TRIUNUS es su capacidad para soportar corrientes de hasta 150 amperios, lo que lo convierte en un modelo adecuado para drones de gran tamaño y con una alta potencia de salida. En el caso del e-Preve N1, se han instalado seis de estos variadores para controlar los motores que mueven las hélices del dron, garantizando una gran estabilidad y un excelente control de vuelo.

En cuanto a su tamaño y peso, el variador Scorpion TRIUNUS tiene unas medidas de 23,7x37x73,8 mm y un peso de 108 gramos, lo que lo hace compatible con la estructura y las dimensiones del dron. Además, su diseño compacto permite ahorrar espacio en el interior del dron, lo que facilita la instalación de otros componentes y aumenta la capacidad de carga de este.

Otro componente crucial es el controlador de vuelo, el encargado de recoger y procesar los datos de los diferentes sensores y dispositivos, y de controlar los motores y las distintas funciones del aparato. Por lo tanto, es fundamental que el controlador de vuelo elegido para este dron sea de alta calidad y fiabilidad, para garantizar un rendimiento óptimo y una seguridad máxima en las operaciones. El modelo HOLYBRO PIXHAWK 5X STANDARD SET es uno de los controladores de vuelo más avanzados y potentes del mercado, que ofrece características únicas que lo hacen especialmente adecuado para aplicaciones profesionales y de alta exigencia como el mantenimiento de aerogeneradores con drones.

El controlador de vuelo HOLYBRO PIXHAWK 5X STANDARD SET cuenta con una arquitectura de triple redundancia, lo que significa que incorpora tres sensores IMU y dos sensores de barómetro, todos ellos operando de manera paralela y continua, incluso en caso de fallos de hardware. Además, el controlador cuenta con un sistema de aislamiento de dominios completamente separado, con buses y controles de alimentación independientes para cada sensor, lo que aumenta aún más la seguridad y la fiabilidad del sistema. Otra característica destacada del HOLYBRO PIXHAWK 5X STANDARD SET es su sistema de aislamiento de vibraciones recientemente diseñado, que filtra las vibraciones de alta frecuencia y reduce el ruido, para obtener lecturas precisas y estables. El controlador también cuenta con una interfaz Ethernet de alta velocidad para integración con ordenadores de misión, lo que facilita la programación y el control del dron.

El HOLYBRO PIXHAWK 5X STANDARD SET tiene una capacidad de procesamiento avanzada, con un procesador FMU de 32 bits ARM Cortex-M7 a 216 MHz, 2 MB de memoria y 512 KB de RAM, y un procesador IO STM32F100 a 32 bits ARM Cortex-M3 a 24 MHz con 8 KB de SRAM. Además, el controlador cuenta con una serie de sensores de alta calidad, como el ICM-20649, el ICM-42688P, el ICM-20602, el BMM150 y el BMP388, que garantizan una precisión y una fiabilidad excepcionales en las mediciones.

Seguimos con el sistema de comunicación, este componente permite una conexión estable y segura entre el piloto y el dron. Es por eso por lo que se seleccionó el receptor Nano RX Tracer TBS para la construcción de este dron. Este receptor es uno de los más avanzados del mercado, ya que cuenta con una latencia extremadamente baja de solo 3ms de extremo a extremo, lo que significa que la respuesta del dron a las órdenes del piloto es casi instantánea. Además, tiene un alcance de más de 25km, lo que permite que el dron pueda volar a largas distancias sin perder la conexión.

Otra característica importante del receptor Nano RX Tracer TBS es que cuenta con diversidad de antenas, lo que significa que tiene dos antenas que trabajan juntas para asegurar una conexión más estable y segura. El receptor Nano RX Tracer TBS también es muy versátil, ya que es compatible

con varios protocolos, como 2x CRSF, SBUS, PPM, 6x PWM y SmartAudio 2.0/2.1, lo que lo hace compatible con una amplia variedad de controladores de vuelo y sistemas de transmisión de video. Además, es muy ligero, pesando solo 0.5g, lo que lo hace ideal para drones de tamaño reducido. En el momento en que se desarrolló el trabajo, el precio del receptor Nano RX Tracer TBS es muy competitivo, lo que lo hace una excelente opción para cualquier proyecto de dron. Es decir que la combinación de características avanzadas, versatilidad y precio competitivo, convierte al receptor Nano RX Tracer TBS en una excelente elección para el sistema de comunicación del dron.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento de datos es un aspecto determinante en la tecnología. En el caso de esta aeronave, la capacidad de almacenamiento de datos es especialmente importante para el proyecto, ya que este dispositivo suele recolectar grandes cantidades de información que deben ser almacenadas y analizadas posteriormente.

Para cumplir con estos requisitos, el dron diseñado utiliza una memoria microSD con una capacidad de almacenamiento de 128GB. Esta memoria, conocida como transflash, es capaz de recolectar y almacenar todos los datos necesarios, incluyendo información sobre el vuelo del dron, la ubicación, la velocidad, la altitud y otros parámetros importantes. Con esta capacidad de almacenamiento, el dispositivo puede recolectar datos durante períodos de tiempo prolongados sin preocuparse por quedarse sin espacio.

Pero la capacidad de almacenamiento no lo es todo. También es importante que la memoria sea capaz de manejar el volcado de datos de alta frecuencia, lo que facilita el análisis de datos mediante el uso de Edge Computing. La memoria microSD en cuestión cumple con estas especificaciones, lo que significa que puede manejar grandes cantidades de datos a altas velocidades y enviarlos a la nube o a otros dispositivos para su análisis.

Además, el rendimiento de la memoria permite que los datos se visualizan en tiempo real en el dashboard del software. Esto significa que los usuarios pueden monitorear y analizar los datos en tiempo real, lo que es especialmente útil en situaciones donde se requiere una respuesta inmediata.

Es decir que la memoria microSD utilizada en este prototipo es capaz de almacenar grandes cantidades de datos, manejar el volcado de datos de alta frecuencia y permitir la visualización en tiempo real de los datos en el dashboard del software. Esto hace que sea una excelente opción debido a que genera grandes cantidades de información.

El regulador de velocidad es el encargado de controlar la velocidad de los motores eléctricos, lo que a su vez determina la velocidad y la estabilidad del vuelo. El regulador de velocidad también es conocido como ESC (Electronic Speed Control) y su diseño está basado en la tecnología de microcontroladores que permite un control preciso y eficiente de la velocidad de los motores.

La tarjeta de circuito impreso utilizada para fabricar el regulador de velocidad es de alta calidad, ya que está hecha de Epoxy Glass, un material altamente resistente que permite soportar altas temperaturas y resistir la corrosión. La impresión de componentes y la máscara antisoldante garantizan una alta precisión en la colocación de los componentes y una protección adicional contra posibles cortocircuitos.

El regulador de velocidad escogido para esta aeronave se encuentra equipado con una serie de características que le permiten adaptarse a diferentes situaciones de vuelo. Una de estas características es la capacidad de mantener una velocidad constante, lo que es crucial para la estabilidad del vuelo y la precisión de la navegación. Además, este regulador de velocidad también permite ajustar la velocidad de los motores en tiempo real, lo que permite adaptarse a cambios repentinos en las condiciones de vuelo, como vientos fuertes o corrientes de aire.

El regulador de velocidad también es capaz de controlar la corriente que fluye a través de los motores, lo que ayuda a prevenir el sobrecalentamiento y el daño a los motores y la batería. Este regulador de velocidad también puede limitar la corriente máxima que fluye a través de los motores, lo que ayuda a prevenir la sobrecarga y prolonga la vida útil del dron. Algunas características técnicas del regulador son:

- Hasta 4 amperios /190 V + 200 V
- Potenciómetro local, montaje subpanel.
- Medidas: 100 x 100mm
- Comando sin aislamiento galvánico.

El sensor de velocidad Mocbos (JN 1200) es un componente esencial en el control y monitoreo de motores de corriente continua. Con su capacidad de controlar la velocidad del motor en un rango que va desde cero hasta la velocidad nominal, este sensor permite un mayor grado de precisión y seguridad en el funcionamiento de los motores. Además, la protección contra sobrecarga del motor que ofrece el sensor es una característica clave que evita daños al motor, incluso si este se encuentra momentáneamente frenado.

Otra ventaja importante de este sensor de velocidad Mocbos es su capacidad de ajuste para la corriente, velocidad máxima, velocidad mínima y aceleración. Estos ajustes permiten una mayor flexibilidad en el control y monitoreo del motor, y se pueden adaptar a las necesidades específicas de cada aplicación. Además, la protección contra sobrecarga y el temporizador de 10 segundos que evita el recalentamiento del motor por sobre corriente, son medidas adicionales de seguridad que garantizan un funcionamiento seguro y eficiente del motor.

En la industria, los motores de corriente continua se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde maquinaria pesada hasta pequeños motores en equipos electrónicos. La precisión y seguridad en el control de la velocidad y la protección contra sobrecarga son factores cruciales en la operación de estos motores. El sensor de velocidad Mocbos (JN 1200) proporciona a este dron una solución confiable y efectiva para el control y monitoreo de motores de corriente continua.

Para el sensor de posición, se ha seleccionado el GPS DroneCAN ya que el dron requiere una navegación precisa y fiable. Este sensor es utilizado en conjunto con los proyectos ArduPilot y PX4, que son dos de los proyectos de código abierto más populares para el control de vuelo de drones.

El GPS Holybro DroneCAN M8, por su parte, es una variante de este sensor que se distingue por incluir un módulo UBLOX M8N, una brújula BMM150 y un indicador LED tricolor. El módulo UBLOX M8N es uno de los módulos GPS más precisos del mercado y es capaz de proporcionar información de ubicación y velocidad con una alta precisión. La brújula BMM150, por su parte, es capaz de detectar y corregir las variaciones magnéticas del ambiente, lo que contribuye a una navegación más precisa.

Además, el GPS DroneCAN es altamente confiable gracias a su protocolo de comunicación DroneCAN, que lo hace menos susceptible a la interferencia electromagnética que pueden tener otros protocolos de comunicación. Esto significa que el sensor es capaz de proporcionar información de ubicación precisa y fiable en entornos donde hay muchos dispositivos electrónicos, como en áreas urbanas.

Otra ventaja que proporciona el GPS DroneCAN es que permite conectar diferentes dispositivos CAN al mismo bus CAN a través de una placa divisora CAN, sin ocupar ningún puerto serie del controlador de vuelo. Esto hace que el sistema de navegación sea más flexible y escalable, lo que resulta en una mayor eficiencia y un menor costo en comparación con otros sistemas.

Algunas de las características técnicas más relevantes son:

- Voltaje: 4.7-5.2V
- Peso: 56g
- Diámetro: 54mm
- Grosor: 14.5mm

El sensor de viento es un componente utilizado para medir la velocidad y dirección del viento, así como la temperatura del aire en su entorno. La tecnología de ultrasonido que se emplea para realizar estas mediciones es muy precisa, lo que lo hace ideal para su uso en aplicaciones de investigación científica y meteorológica.

Este tipo de sensor de viento que se ha seleccionado puede detectar el viento desde cualquier dirección, ya que utiliza cuatro transductores ultrasónicos dispuestos en ángulo recto para medir la velocidad del viento en tres dimensiones. Estos transductores emiten pulsos de sonido y miden el tiempo que tarda cada uno de ellos en rebotar en partículas de aire en movimiento, lo que les permite calcular la velocidad y dirección del viento. Además de medir la velocidad y dirección del viento, el sensor de viento también es capaz de medir la temperatura del aire en su entorno. Para ello, utiliza un termómetro de precisión incorporado que mide la temperatura del aire circundante.

Otra característica importante de este sensor es su brújula incorporada. La brújula le permite al sensor determinar la dirección absoluta del viento en relación con el norte magnético, lo que es especialmente importante para aplicaciones en las que se requiere una alta precisión en la medición de la dirección del viento. Otro beneficio clave del sensor de viento es su peso reducido de 100g, gracias a la construcción de un compuesto de grafito y nylon. Esto es especialmente importante en aplicaciones en las que la estabilidad del sensor es crucial, ya que un peso reducido permite que el sensor pueda mantenerse estable en situaciones de altas ráfagas de viento.

El sensor de presión barométrica es uno de los sensores más importantes en un dron, especialmente para aquellos que necesitan realizar vuelos a diferentes altitudes. Por esta razón, este sensor ha sido seleccionado para este prototipo, ya que permite obtener mediciones precisas desde cualquier altitud a la que se encuentre el dron.

El sensor de presión barométrica con interfaz de bus SPI e I2C es muy preciso y tiene una resolución de 10 cm/20 cm. Esto significa que puede medir la altitud con una precisión muy alta, lo que es fundamental para garantizar la seguridad en los vuelos, y para llevar a cabo misiones específicas. Además, el sensor cuenta con un ADC de 24 bits de bajo consumo que proporciona valores digitales precisos de presión y temperatura. Otra ventaja del sensor de presión barométrica es que ofrece diferentes modos de operación que permiten al usuario optimizar la velocidad de conversión y el consumo de corriente. Esto es importante en drones que necesitan prolongar la duración de la

batería durante el vuelo. La salida de temperatura de alta resolución permite la implementación de una función de altímetro/termómetro sin necesidad de ningún otro sensor adicional.

El sensor de presión barométrica es fundamental en drones que necesitan medir la altitud con precisión y seguridad. Su alta resolución, precisión y la posibilidad de optimizar la velocidad de conversión y el consumo de corriente hacen que sea una excelente opción para ser utilizado en el dron. Con este sensor, se puede garantizar un vuelo seguro y una recolección de datos precisa y confiable.

Vamos a presentar los componentes que forman la cuarta y última sección del dron, comenzando por la cámara Boson de Teledyne FLIR es una elección ideal para este prototipo debido a su avanzada tecnología de procesamiento de imágenes y sus capacidades de detección de calor. Esta cámara es una de las más avanzadas en el mercado, y es capaz de detectar incendios y altas temperaturas con gran precisión y eficacia.

Con su capacidad de procesamiento de imágenes, la cámara Boson es capaz de proporcionar imágenes nítidas y detalladas de la zona afectada, lo que permite a los bomberos y otros equipos de rescate obtener información valiosa y precisa sobre la extensión del incendio y las áreas que deben ser atendidas primero. Además, la cámara cuenta con interfaces de comunicación estándar, lo que permite su integración fácil y eficiente con otros sistemas y dispositivos. Otra de las grandes ventajas de la cámara Boson es su bajo consumo de energía, que permite que pueda ser utilizada durante largos períodos de tiempo sin necesidad de interrupciones o recargas frecuentes de batería. Esta característica es especialmente importante en situaciones de emergencia, donde cada minuto cuenta y es esencial contar con herramientas fiables y duraderas.

En definitiva, la cámara Boson de Teledyne FLIR es la elección perfecta para esta aeronave debido a su tecnología de vanguardia, sus capacidades de detección de calor, su capacidad de procesamiento de imágenes y su bajo consumo de energía. Con esta cámara a bordo, el dron está

perfectamente equipado para enfrentar situaciones de emergencia y proporcionar ayuda y apoyo en momentos críticos.

A continuación, se presentan algunas de las características de la cámara:

- Resolución: 640 x 512 - 24° HFoV
- 12 μm píxel
- 21 x 21 x 11 mm, (4.9 cm³) dimensiones
- Peso de 7'5g
- 500 mW
- Construcción robusta y temperatura máxima de -40°C a +80°C

El segundo y último componente se trata de la cámara de imagen. El uso de drones en el ámbito audiovisual y fotográfico ha experimentado un gran auge en los últimos años, siendo cada vez más común en la industria cinematográfica, publicitaria y de eventos. Por esta razón, la selección de una cámara de alta calidad para la construcción de este prototipo es esencial para poder obtener imágenes y vídeos de alta resolución y con detalles precisos.

La cámara que se ha seleccionado cuenta con un sensor dual de alta calidad, lo que permite mejorar la resolución final de las imágenes y vídeos capturados, proporcionando una gran precisión y nitidez en las imágenes. Además, su procesador dual core permite procesar los datos de forma rápida y eficiente, lo que resulta esencial para poder realizar tomas en tiempo real y en alta definición. Otra de las características importantes de esta cámara es la presencia de dos lentes, lo que permite capturar imágenes desde diferentes ángulos, ofreciendo una mayor versatilidad y posibilidades creativas en la producción audiovisual. También cuenta con la capacidad de grabar audio en alta calidad.

El sistema de anti-vibración del software de la cámara ayuda a reducir los movimientos bruscos durante la grabación, lo que garantiza una estabilización óptima de la imagen. La conectividad WIFI permite la transferencia de los archivos de forma rápida y sin necesidad de cables. Por último, el

peso reducido de solo 18g hace que la cámara sea fácilmente transportable y manejable, lo que es especialmente importante en un dron que necesita ser lo más ligero posible para su vuelo.

La cámara seleccionada para la construcción de la aeronave ofrece una alta calidad de imagen excepcional, junto con características técnicas avanzadas que permiten realizar grabaciones en tiempo real y en alta resolución, lo que la convierte en la opción ideal para su uso.

Para decidir cada uno de los componentes se ha utilizado una herramienta que permite evaluar y optimizar el rendimiento del sistema: la calculadora de multicopteros eCalc. Esta potente herramienta ha permitido seleccionar los componentes adecuados y obtener información precisa y detallada sobre el desempeño de este prototipo.

Criterios De Diseño

La selección de componentes para el dron es un paso crítico en el proceso de diseño, ya que afecta directamente al rendimiento, tiempo de vuelo y capacidad para realizar las tareas de mantenimiento. Gracias a eCalc, se ha podido ingresar los componentes específicos, como motores, hélices, baterías y controladores de vuelo, y obtener resultados inmediatos sobre el rendimiento estimado del dron.

Uno de los principales parámetros evaluados en eCalc es el tiempo de vuelo estacionario, que proporciona una estimación del tiempo máximo que el dron puede permanecer en el aire sin necesidad de recargar la batería. Además, se ha obtenido información detallada sobre la carga necesaria para los componentes seleccionados, la potencia eléctrica requerida, la temperatura interna esperada y el empuje-peso del dron.

También, eCalc ha brindado al análisis datos sobre el empuje específico del sistema, lo que ha permitido comprender mejor la relación entre la potencia generada y el peso del dron, lo cual es crucial para su eficiencia y rendimiento en vuelo.

La utilización de esta herramienta ha permitido realizar comparativas entre diferentes configuraciones de componentes, lo que ha sido fundamental para tomar decisiones informadas y optimizar el rendimiento del dron. Además, las observaciones y recomendaciones proporcionadas por eCalc han ayudado a ajustar los componentes y parámetros de la aeronave para mejorar su eficiencia y cumplir con los requisitos establecidos del proyecto.


Dentro de las funcionalidades de eCalc, se encuentra un apartado específico dedicado a las dimensiones del dron, donde se detallan aspectos clave como el diámetro. Estas dimensiones son fundamentales para garantizar un diseño adecuado y cumplir con los requisitos de los aerogeneradores que se someterán a mantenimiento.

La información sobre las dimensiones permite tener una idea clara de la envergadura y el tamaño del dron, una parte esencial para asegurar su maniobrabilidad y su capacidad para acceder a áreas de difícil acceso en los aerogeneradores. Además, ayuda a evaluar si las dimensiones del dron cumplen con las restricciones de espacio y los límites de carga establecidos por los aerogeneradores.

En el diseño del dron, se ha tenido en cuenta tanto la funcionalidad como la seguridad, por lo que las dimensiones juegan un papel fundamental en el equilibrio entre el rendimiento y la capacidad de maniobra. Gracias a la información precisa proporcionada por eCalc, se ha podido adaptar las dimensiones del dron para garantizar una operación segura y eficiente en los aerogeneradores.

En la figura 7, se muestra una imagen que ilustra las dimensiones del dron, obtenidas a través del programa eCalc comentado. Esta representación visual complementa la información presentada en este documento, brindando una visión clara de las características físicas del dron y su relación con los aerogeneradores.

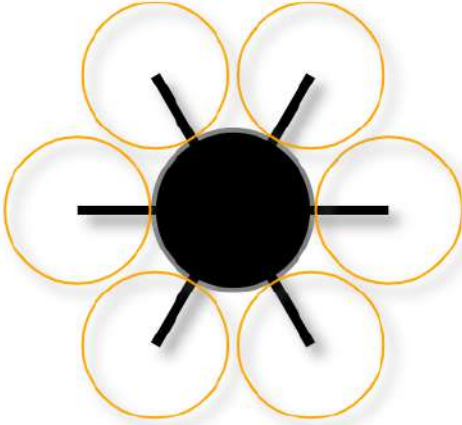
Figura 7. Configuración inicial del simulador de componentes.



eCalc
xcopterDesigner

The xcopterDesigner of eCalc.ch visualizes your copter design and helps to evaluate the biggest propeller for a full symmetric frame. For best efficiency maximize the disc area and use the biggest propeller. However **always respect the physical limitation** of your actual frame regarding propeller-to-propeller and propeller-to-hub clearance. The framesize is the diameter between opposite motor shafts (with even number of rotors).

Number of Rotors	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="flat"/>	▼
Framesize:	<input type="text" value="650"/>	mm	
Propeller Diameter:	<input type="text" value="12"/>	inch max. 12.7 inch	
Disc area:	4377.9 cm ²		
Propeller clearance:	20 mm		
max. Hub Diameter [•]:	345 mm	(for actual prop diameter)	
max. Hub Diameter [••]:	325 mm	(for max prop diameter)	
Copter Diameter:	954 mm		



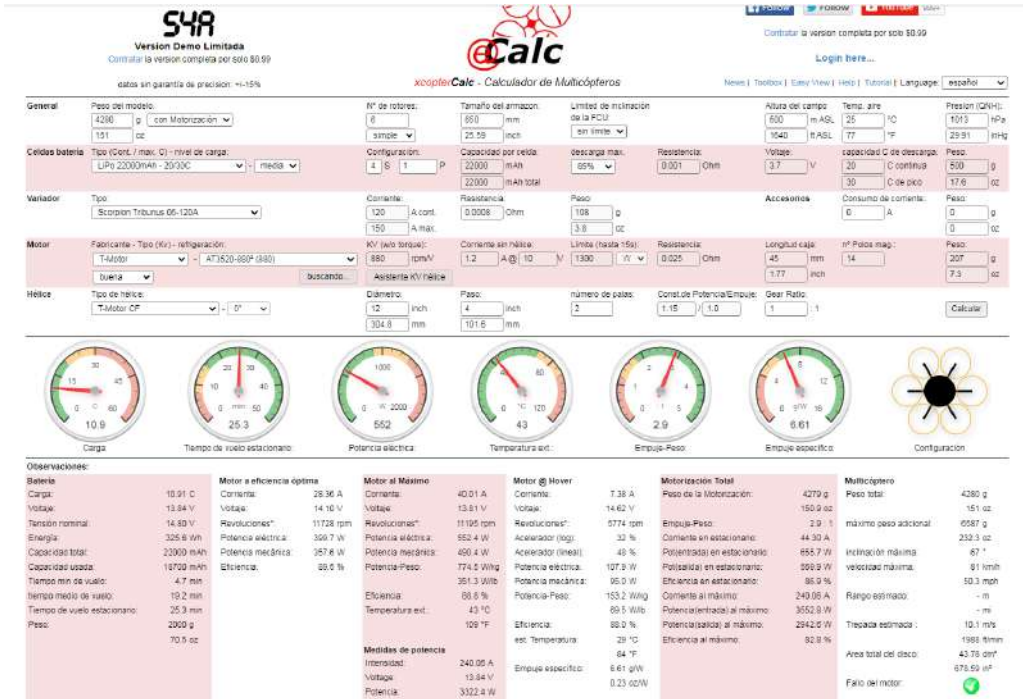
Notas: En la parte superior de la imagen se muestran los datos iniciales que se deben establecer para empezar a utilizar el simulador.

Esta herramienta ha proporcionado una amplia gama de datos, incluyendo gráficas informativas que ayudan a comprender mejor el rendimiento del dron y optimizar su diseño.

A través de eCalc se ha obtenido el gráfico del estimador de alcance (Figura 8). Esta gráfica muestra la relación entre el tiempo de vuelo estacionario y la carga necesaria que requieren los componentes seleccionados. Proporciona una representación visual del rendimiento de este prototipo en términos de su capacidad para operar durante un período prolongado sin la necesidad de recargar la batería. El estimador de alcance ha permitido, al mismo tiempo, evaluar diferentes

configuraciones y ajustar los componentes para optimizar el tiempo de vuelo y garantizar un mantenimiento eficiente de los aerogeneradores.

Figura 8. Calculadora y ajuste de componentes electrónicos para su simulación eléctrica.

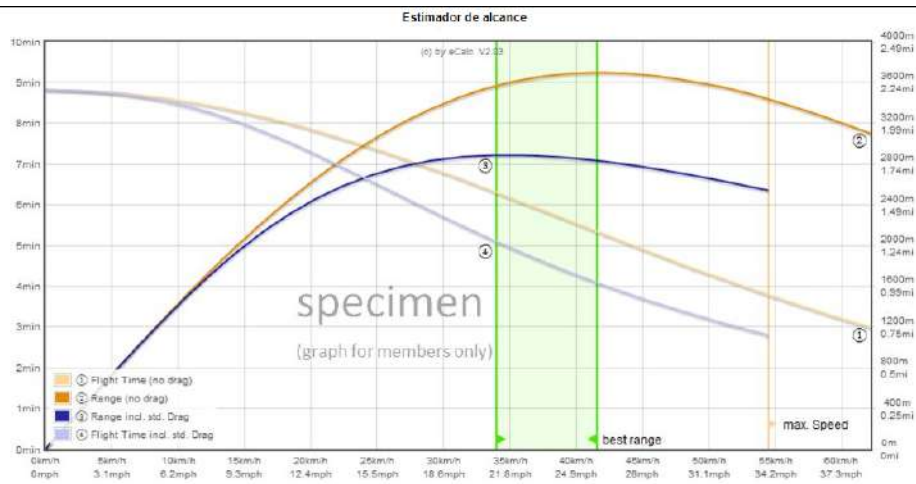


Notas: Panel principal con distintos ajustes dependiendo de los componentes establecidos, junto con los resultados que ofrecen los datos proporcionados.

Otra gráfica relevante proporcionada por eCalc se centra en las características del motor y el amperaje (Figura 8). Esta gráfica muestra la relación entre el amperaje y la potencia generada por los motores seleccionados. Brinda información esencial sobre el rendimiento y la eficiencia de los motores en relación con los requerimientos del dron. Esta representación visual ha permitido seleccionar los motores más adecuados y ajustar el amperaje para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro del dron durante las operaciones de mantenimiento.

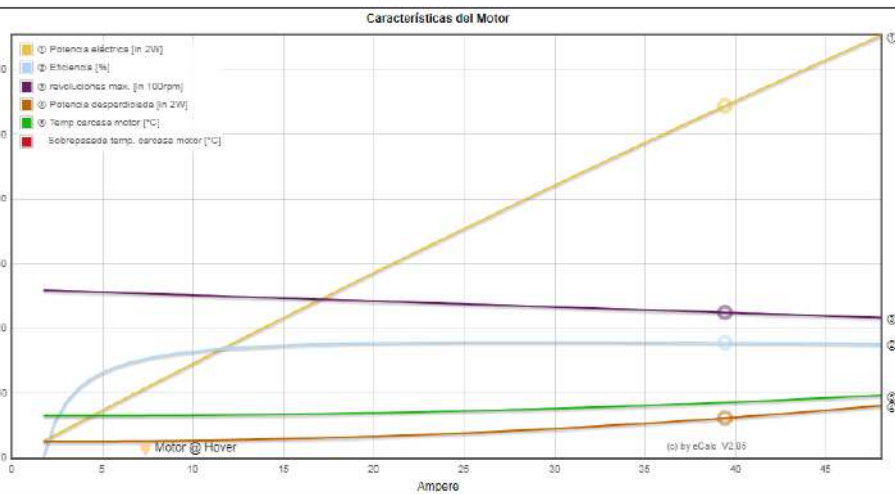
En la figura 9 y 10 se ilustran de forma clara los resultados y datos proporcionados por la calculadora. Estas imágenes complementan la información presentada en este documento, permitiendo una comprensión más visual y detallada del rendimiento y las características del dron.

Figura 9. Simulador del alcance del dron con los componentes seleccionados.



Notas: Simulación que muestra la correlación entre el tiempo, la altura y la velocidad del dron, conociendo de este modo su comportamiento.

Figura 10. Simulador de las características funcionales del motor de la aeronave.



Notas: Simulador funcional del dron que muestra el comportamiento del motor, conociendo de este modo la cantidad de potencia requerida junto con las revoluciones máximas alcanzadas.

En cuanto a la comunicación de los componentes, cuando el dron recibe la señal de activación en un primer instante, el procesador enciende los motores y alcanzan el vuelo para dirigirse, gracias al sistema GPS y sensores de posicionamiento, hacia el aerogenerador que se le ha indicado previamente en el software. Una vez allí, el dron detecta la posición de las hélices del aerogenerador, y una vez esté

el aspa preparada, el Arduino envía una señal a las cámaras para que, junto con un desplazamiento ligero, vaya de un extremo a otro de la hélice analizando al detalle, incidiendo en alguna fisura que aparezca en la superficie del aspa.

Los datos obtenidos, tanto térmicos como imágenes, se envían al procesador que funciona a través Edge Computing², donde se analizarán estos datos y se procederán a enviarse a la plataforma para su comprensión de forma visual en los diferentes paneles de control y dashboards.

Materiales e-Preve N1

Teniendo en cuenta que este prototipo se someterá a grandes ráfagas de viento, los materiales deben ser lo suficientemente resistentes, de forma que puedan hacer frente a las inclemencias del tiempo, evitando así que el dron sufra consecuencias negativas que afecten a su correcto funcionamiento.

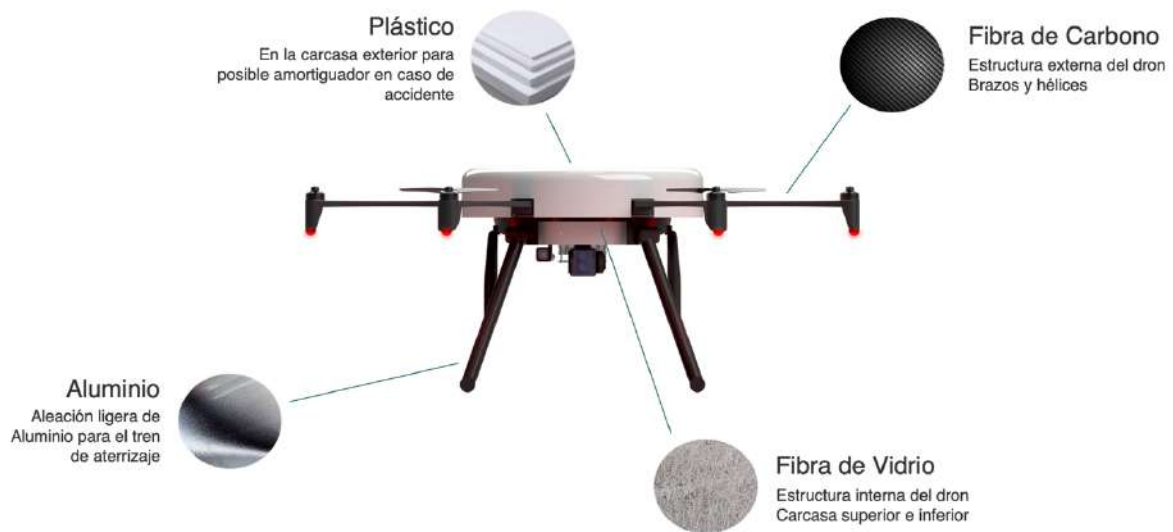
Entre los materiales escogidos para nuestro producto tenemos, la fibra de vidrio, el aluminio, la fibra de carbono y el plástico. En la figura 11 se puede encontrar una imagen indicando qué producto se ha usado para cada parte de la estructura.

A través de estos materiales se busca la garantía de una alta resistencia a choques, un peso ligero y tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica, con el fin de que el dron pueda volar de manera segura.

La elección de los materiales es fundamental para el prototipo, ya que este es el primer paso que permite realizar las comprobaciones necesarias y oportunas para evitar problemas durante el vuelo y evitar comportamientos erráticos en el dron.

² Modelo de computación distribuida en el cual las operaciones tienen lugar cerca de la ubicación física donde se recopilan y analizan los datos, en la periferia, en lugar de llevarse a cabo en un servidor centralizado o en la nube (el cloud).

Figura 11. Ubicación de materiales para la estructura del dron.



Notas: Materiales utilizados para cada una de las secciones de la aeronave, representadas de forma gráfica.

Con estos materiales, el dron cuenta con la característica de operar bajo la lluvia sin problema, considerando también el entorno marino. Así mismo, son repuestos especialmente económicos y podrán ser fáciles de sustituir o cambiar. Cada uno de estos materiales ha sido escogido para una determinada función.

A continuación, se va a explicar por qué estas elecciones y algunas de sus características más importantes:

La Fibra de Vidrio formará el esqueleto del dron, el cual incluye la estructura tanto interna como externa. Esta fibra también será implantada en el resto de los componentes encargados de proteger los sensores y la cámara, es decir, la estructura central de la aeronave, con el objetivo de una mayor resistencia manteniendo un peso ligero.

Por otra parte, el dron está también compuesto de aluminio, con una aleación ligera para el tren de aterrizaje. Este material cuenta con las *siguientes* características: resistencia, ligereza, impermeabilidad y reciclable. Uno de los grandes beneficios que proporciona el aluminio es que, en caso caída desde grandes alturas, el tren de aterrizaje puede ser lo suficientemente resistente contra

el impacto recibido. Esto ayuda a amortiguar la caída y evita daños en la estructura y componentes del dron.

La Fibra de Carbono se utiliza para la fabricación de la estructura externa del dron. Las hélices del mismo están diseñadas para fabricarse con estas fibras, debido a que este material garantiza mejoras de resistencia, mantiene un peso ligero y amortigua el ruido generado por el dron. Estas características resultan con una experiencia de alta calidad de vuelo con tiempos más prolongados.

Finalmente, la carcasa exterior del dron es fabricada con plástico, material característico por ser resistente a cualquier impacto, lo cual hará posible la amortiguación del dron en caso de accidente. El plástico es resistente al desgaste de los rayos UV, siendo así conveniente para la parte exterior del dron, proporcionando de este modo una larga durabilidad en el producto. Este material ayuda a reducir el peso de la aeronave, lo cual beneficia los tiempos de vuelo contribuyendo también en las vibraciones y ruido del mismo.

Evaluación Operativa Del Dron

Para concluir la parte destinada al dron e-Preve N1, se presentan los KPIs considerados relevantes para poder evaluar, una vez operativo, la eficiencia de su servicio. En la tabla 4 se presenta un listado con los KPIs elegidos, su descripción y la forma de calcularlos, para así poder evaluarlos de forma objetiva y medible.

Tabla 4. *KPIs relevantes para la evaluación de la eficiencia del dron y su cálculo.*

KPI	Descripción	Cálculo
Eficiencia de Inspección	Mide la capacidad para inspeccionar las palas del aerogenerador. Evalúa la proporción de las palas que el dron puede inspeccionar en un periodo de tiempo determinado.	$(\text{Número de palas inspeccionadas y analizadas} / \text{Número total de palas}) \times 100$
Tiempo Promedio de Inspección	Indica la cantidad de tiempo que tarda en inspeccionar cada pala del aerogenerador. Este es importante para evaluar la eficiencia en la recolección de datos.	$\text{Tiempo total de inspección} / \text{Números de palas inspeccionadas}$

KPI	Descripción	Cálculo
Calidad de Imagen	Evalúa la calidad de imágenes capturadas por el dron durante la inspección de las palas del aerogenerador. La buena calidad de imagen es esencial para un análisis preciso y conciso.	Mediante evaluación de expertos en análisis de imágenes mediante algoritmos de procesamiento de imágenes que midan el nivel de detalle, nitidez y claridad.
Porcentaje de Defectos Detectados	Mide la capacidad del dron para identificar y registrar correctamente los defectos presentes en las palas del aerogenerador. Este es esencial para evaluar la efectividad del análisis realizado por el dron.	$(\text{Número de defectos detectados} / \text{Número total de defectos presentes}) \times 100$
Tiempo de Respuesta Para Informes	Indica el tiempo que lleva generar y enviar los informes de inspección después de completar la tarea o el análisis. El tiempo de respuesta es fundamental para tomar decisiones y realizar reparaciones.	Tiempo transcurrido desde la finalización de la inspección hasta la entrega del informe final.
Porcentaje de Cobertura de Inspección	Mide el porcentaje de superficie de las palas del aerogenerador que se han inspeccionado con éxito. Este evalúa la exhaustividad de la inspección y la capacidad del dron para cubrir todas las áreas relevantes de las palas.	$(\text{Áreas de las palas inspeccionadas} / \text{área total de las palas}) \times 100$
Cobertura Geográfica	Mide el área total de las palas del aerogenerador que han sido cubiertas por el dron durante la inspección. Este evalúa la efectividad del dron para alcanzar y analizar todas las secciones de las palas.	$(\text{Área total cubierta por el dron} / \text{Área total de las palas del aerogenerador}) \times 100$
Frecuencia de Inspección	Indica con qué frecuencia se realiza la inspección de las palas del aerogenerador utilizando el dron. Es importante para mantener un programa de monitoreo regular y garantizar la detección temprana de posibles problemas con las palas del aerogenerador.	Número de inspecciones realizadas durante un período de tiempo determinado

e-Preve N1 Box

El segundo componente del kit que forma e-Preve se trata de una estación de carga y refugio, permitiendo alargar la vida del dron y ofrecerle la autonomía necesaria para poder funcionar sin

necesidad de operadores supervisando. La e-Preve N1 Box se instala en la parte superior de la góndola del aerogenerador, un lugar de superficie plana que le permitirá un agarre mucho más estable y perenne. Para finalizar su instalación, se conectará a los circuitos del aerogenerador, permitiéndole así acceder a la energía generada por el mismo molino.

Según los cálculos realizados por los simuladores, se tomó la decisión de instalar una estación de carga por cada 5 aerogeneradores; como cada vuelo tiene capacidad para inspeccionar dos molinos, en tres vuelos en una misma jornada serían suficientes para evaluar toda el área definida. Después de cada ciclo de vuelo (cuando su batería no le permita operar), el dron automáticamente volverá la base e iniciará su proceso de carga, una vez finalizado volverá a iniciar su recorrido hasta completar los aerogeneradores que tiene dentro de su perímetro. Cuando haya finalizado los análisis, se mantendrá en el interior de la caja hasta su próxima activación.

N1 Box está formado por una estructura exterior, rieles extensibles y la base de carga (consultar apéndice C para visualizar el diseño renderizado). Su diseño está estudiado para que el equipo no se vea dañado por la prolongada exposición a condiciones climáticas adversas. Siguiendo esta máxima, se han evitado esquinas que puedan erosionarse con el tiempo, cavidades que almacenen suciedad o agua y cualquier elemento que suponga una gran barrera al viento, por otro lado, se ha optado por el color blanco, mimetizándose así con la estructura del aerogenerador, haciéndolo más ligero y menos propenso a la captación de rayos uva. Es importante mencionar que también se ha tenido en cuenta que el diseño debía fomentar que la presencia de este no afectase al funcionamiento del aerogenerador.

La estación de carga cuenta con sistemas de ventilación y control de temperatura para evitar el sobrecalentamiento y proteger los componentes internos del dron, asimismo está equipada con mecanismos de seguridad como sistemas de bloqueo y sensores de intrusión, para prevenir el acceso no autorizado. También está equipada con mecanismos de seguridad que garantizan un entorno de carga seguro, incluyendo protección contra sobrecalentamiento, cortocircuitos y sobretensiones, lo

que asegura la integridad tanto del dron como del personal operativo. Por otra parte, se han implementado sistemas de respaldo de energía para garantizar que el dron pueda ser recuperado incluso en caso de interrupciones del suministro eléctrico.

En cuanto a su funcionamiento, a través de sensores de proximidad y conexiones directas con el dron N1 y con el software Air Data, extenderá los rieles hasta que sobresalgan de forma longitudinal dos anclajes a los que se sujetará la aeronave. Una vez bien asegurada, los rieles se plegarán arrastrando el dron a la posición óptima para el proceso de carga e inspección del mismo.

Una vez dentro, se aproxima una base que se encargará de cargar la batería, formado por un cargador de batería iCharger 4010DUO, seleccionado debido a su alta capacidad de carga, versatilidad y fiabilidad en la carga de baterías de alta potencia. Este dispositivo es esencial para el mantenimiento de las baterías del dron, asegurando que estén completamente cargadas y en óptimas condiciones para un vuelo seguro y eficiente.

Una vez terminada la fase de carga, el dron estará listo para su próximo vuelo, que será el momento en el que se procederá a la extracción de la aeronave y la puesta en marcha inmediata. Cuando el dron haya despegado, los rieles se resguardarán y la estación de carga quedará sellada hasta la vuelta del N1.

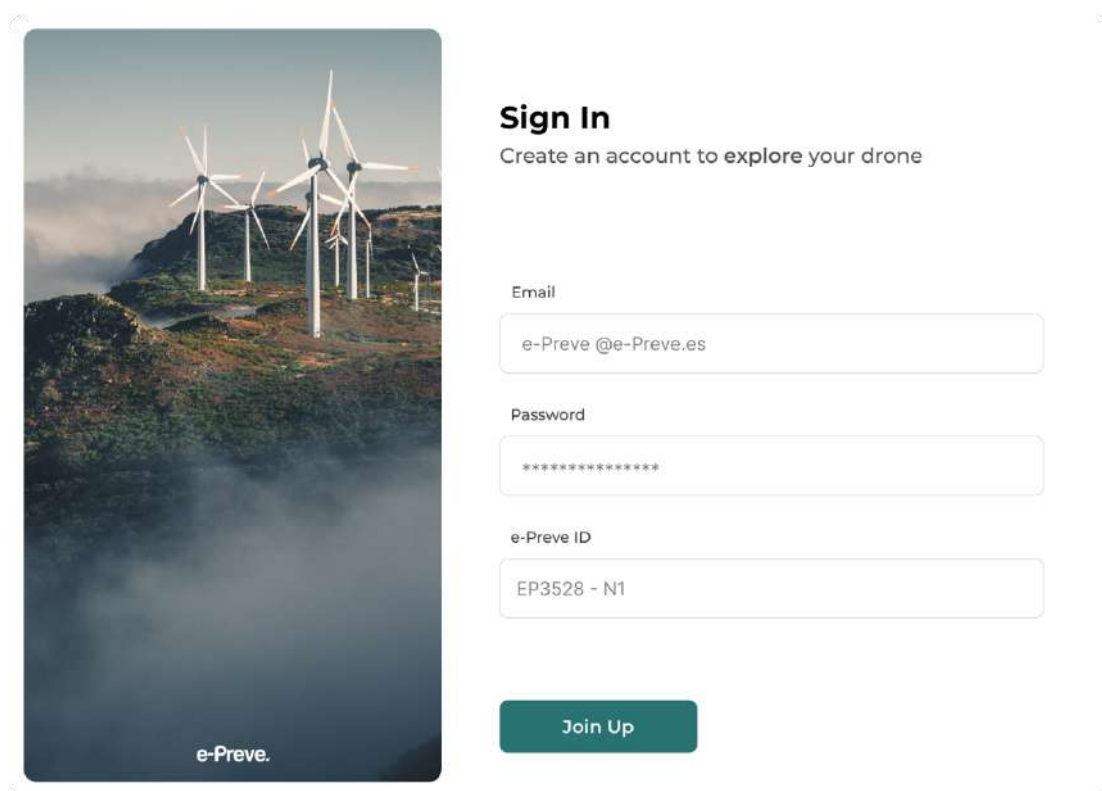
En cuanto al proceso de carga del dron, este recibirá energía hasta llegar al 100% de su carga, proceso que podrá finalizarse en un tiempo estimado de 42 minutos dependiendo de la temperatura exterior. Estas cargas tienden a ser altamente eficaces puesto que la energía consumida en la base proviene de la energía generada por el aerogenerador, de esta forma permite disminuir consumos y conseguir tener un producto sostenible. En definitiva, la e-Preve N1 Box es un sistema avanzado que garantiza una recarga segura y rápida.

e-Preve AirData

AirData es el software que se encarga de almacenar y tratar todos los datos, imágenes y vídeos que el dron ha recopilado. En ella se podrán visualizar todos los datos recogidos, así como visualizaciones 3D de las hélices, generación de acciones para prevenir acontecimientos, así como ofrecer acciones y/o recomendaciones como mantenimiento preventivo o detectar anomalías entre los datos.

Para garantizar una correcta integración al principio de usar la plataforma, e-Preve AirData posee un sistema de guiado que facilita el proceso de integración, ya que está preparado para avisar en caso de no realizar correctamente un paso. El funcionamiento de esta plataforma es sencillo e intuitivo para facilitar su uso. De esta forma, para iniciar sesión, en la primera pantalla (figura 12) se deberá hacer registro y validar el código del dron N1.

Figura 12. Pantalla de inicio de sesión y registro.



Sign In
Create an account to explore your drone

Email
e-Preve@e-Preve.es

Password

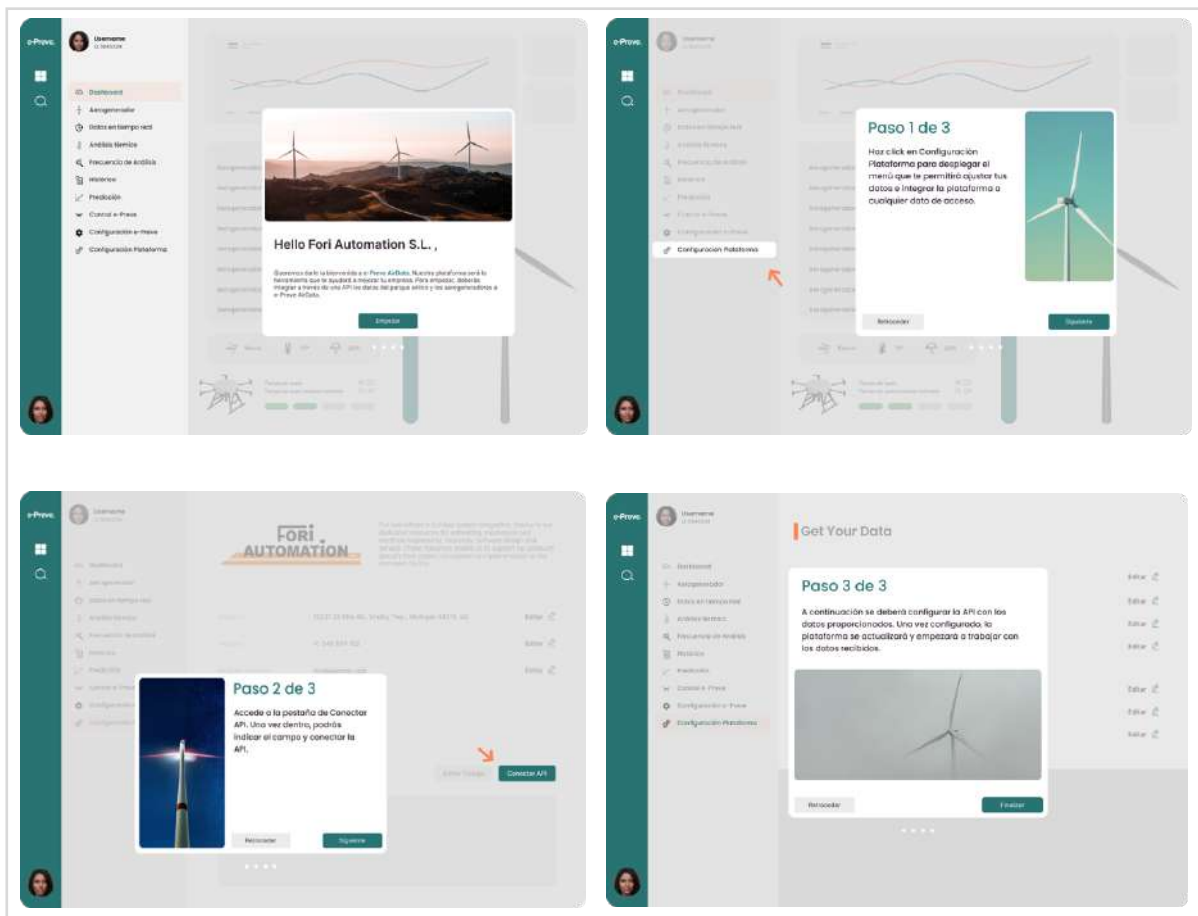
e-Preve ID
EP3528 - N1

Join Up

Notas: Interfaz de inicio de sesión en e-Preve AirData. Se solicita email, contraseña e ID del dron.

Una vez hecho el registro y validado el código que hace referencia al dron, la plataforma tiene programada una guía para saber cómo integrar la plataforma a los datos del aerogenerador a través de la API. Esta guía, además de ser corta e intuitiva, y como podemos ver en la figura 13, señala aquellas zonas donde el cliente deberá hacer completar y clicar para continuar. Si la plataforma no detecta el clic en la casilla marcada, esta no continuará. De esta forma se asegura que el cliente integre correctamente los datos para sacar el máximo partido a la herramienta.

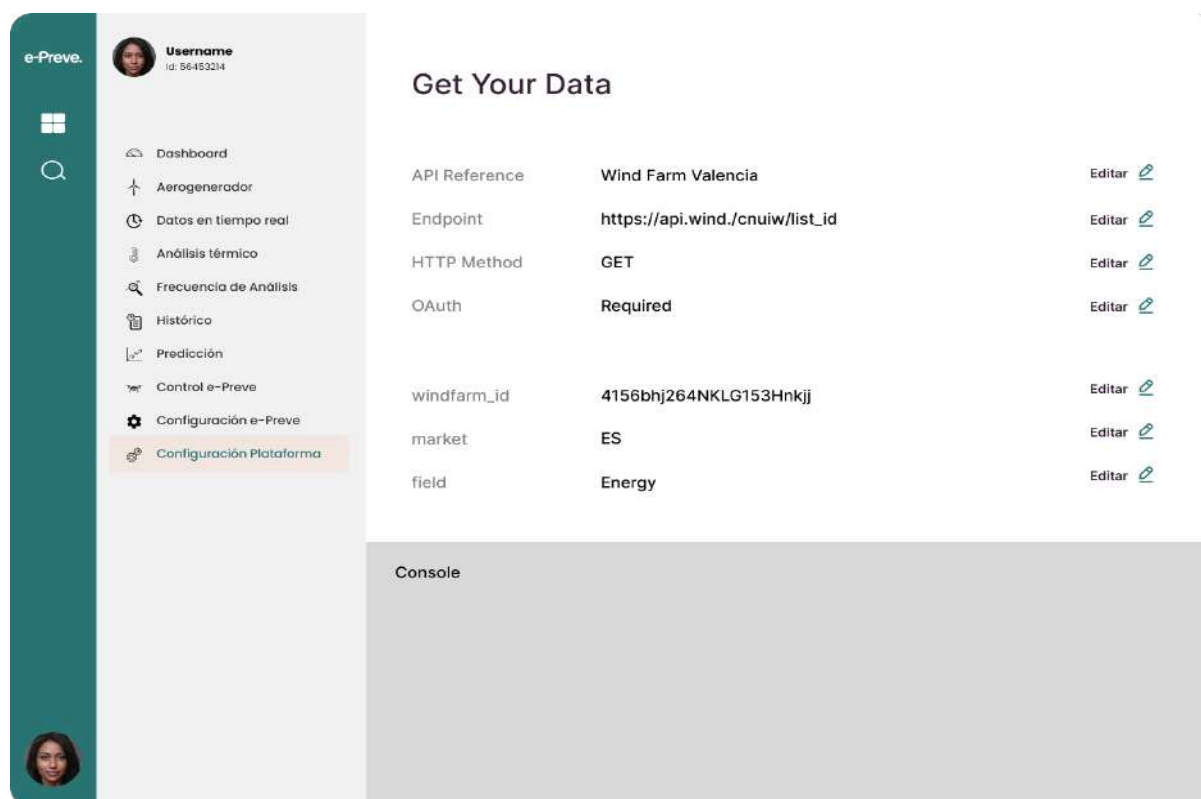
Figura 13. Secuencia de pantallas para realizar la integración correctamente.



Notas: Guía diseñada paso a paso hasta llegar a la pestaña dónde poder integrar la plataforma con los datos generados por un aerogenerador.

Quando el cliente esté situado dentro de la plataforma ya podrá integrarla junto con los datos del parque eólico. Una vez seguida la ruta, veremos que la última pantalla es simplemente un formulario que deberá rellenar con los datos requeridos, tal y como aparece en la Figura 14.

Figura 14. Interfaz para conectar los datos del aerogenerador a la plataforma AirData.



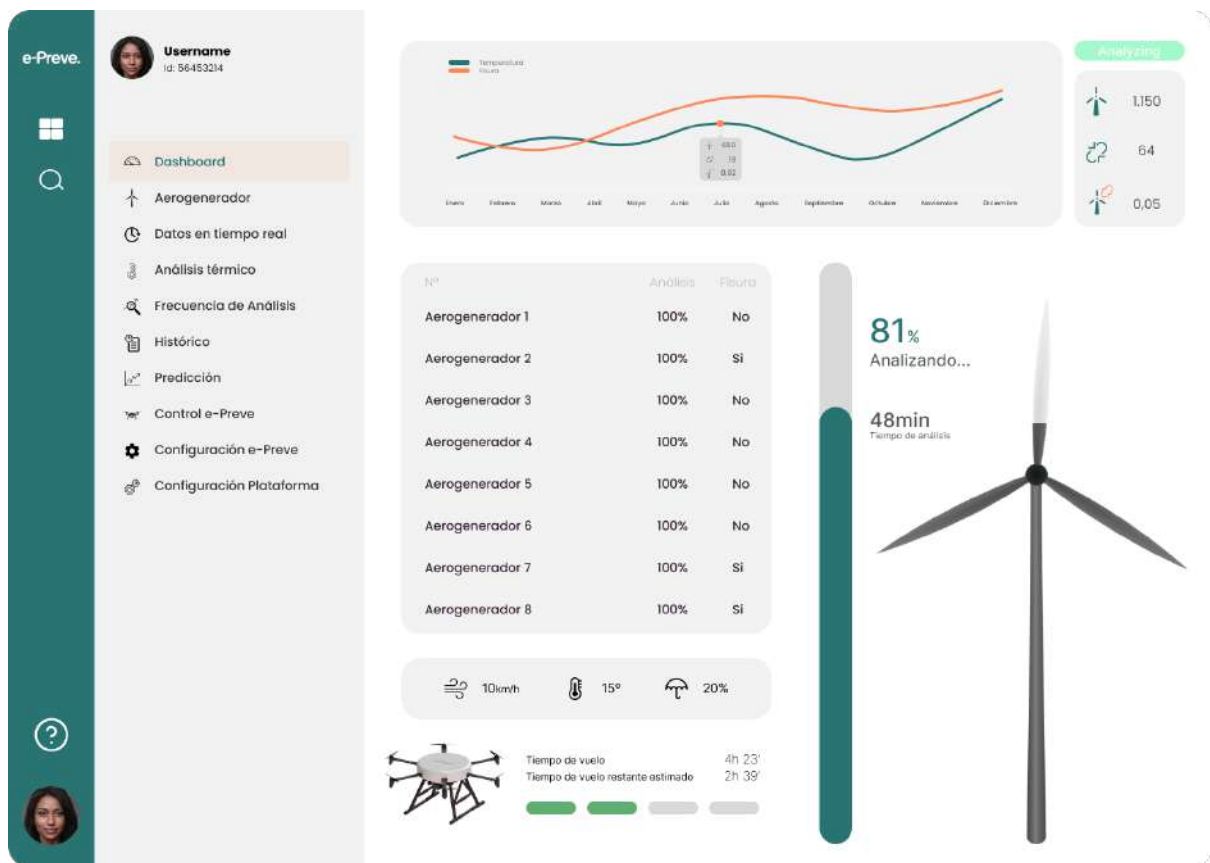
Notas: Los datos solicitados engloban las fuentes principales dónde se recogen los datos generados por el aerogenerador, así como una consola para simular la integración con la API establecida.

Una vez integrada, AirData se reiniciará para comenzar a adaptar sus gráficas y datos a la información establecida o enlazada. Este software cuenta con dos dashboards principales y varios desplegados para visualizar los datos.

En el primer y principal dashboard se visualizarán los datos que va recogiendo el dron, el tiempo estimado de actualización es cada 30 segundos, siendo los datos visualizados casi en tiempo real, vemos un ejemplo visual en la figura 15.

En ella se podrán ver históricos y comparativas, datos climatológicos y el estado del análisis actual del dron. En la siguiente imagen se muestra cómo estarán repartidos los datos en este primer dashboard.

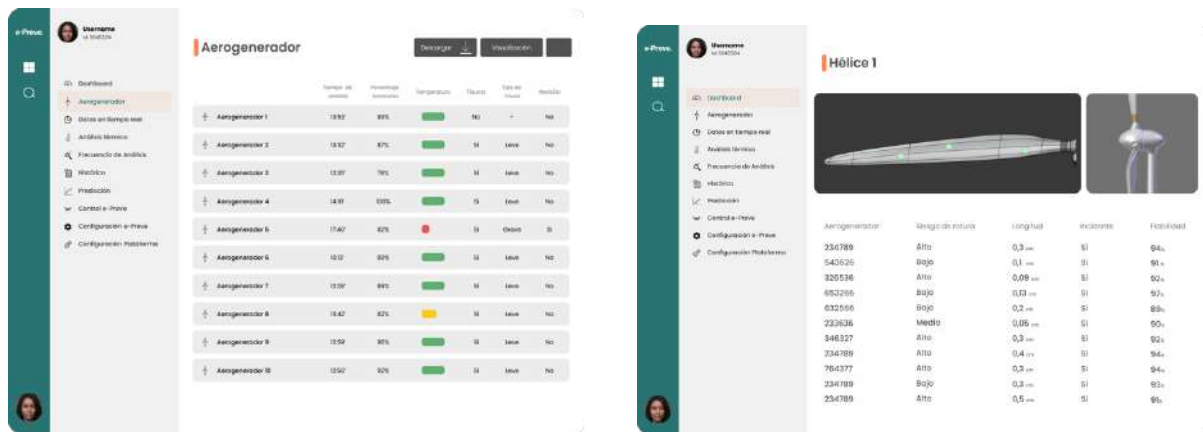
Figura 15. Dashboard principal de e-Preve AirData.



Notas: Menú izquierdo para navegar por la plataforma. El dashboard está formado por 3 módulos distintos; uno en la parte superior, otro a la parte inferior izquierda y, por último, otro a la parte inferior derecha.

Por otra parte, el menú desplegable de la izquierda nos permite navegar por los datos relativos a una sola hélice. Aquí se podrán visualizar los datos por hélice, mostrando maquetaciones 3D de la hélice y puntualizando exactamente dónde se encuentran las fisuras, o cualquier otro tipo de anomalía, como se puede observar en la figura 16.

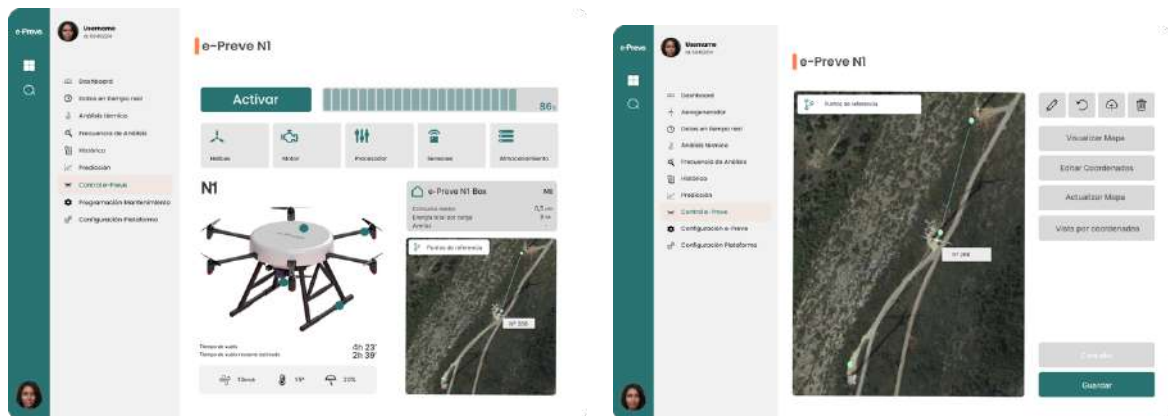
Figura 16. Pantallas relativas a la información de las hélices del aerogenerador.



Notas: En la pantalla izquierda se muestran datos genéricos de todos los aerogeneradores. Para profundizar esta información, si se clicca en los aerogeneradores aparecerá un desplegable.

Por último, el segundo dashboard, dedicado completamente a la configuración del propio dron. En este dashboard, como se puede observar en la figura 17, se podrá activar la aeronave, establecer rutas para el dron en el mismo parque eólico con un sistema de coordenadas, aumentar o disminuir potencias y monitorizar el funcionamiento y estado de cada uno de los componentes.

Figura 17. Pantallas de ajuste y control del dron e-Preve N1.



Notas: A la izquierda el panel donde poder monitorizar los datos internos del dron y su estado en vuelo y en parado. A la derecha la configuración de las coordenadas que seguirá el dron en el parque.

Metodología

Análisis del mercado

El análisis de mercado que inicia este trabajo de fin de grado tiene como objetivo proporcionar un retrato objetivo del estado actual del mercado en el que opera e-Preve. Para ello se ha realizado

una exhaustiva investigación acerca del sector de las energías sostenibles, haciendo hincapié en la energía eólica. Se ha buscado información relevante, como las políticas gubernamentales hacia la energía eólica, las tendencias de inversión tanto de empresas privadas como públicas, y el rendimiento actual del mercado.

Las principales fuentes de información utilizadas incluyen las páginas web oficiales de empresas energéticas y gobiernos, investigaciones realizadas por consultoras privadas especializadas en el mercado de las energías renovables, y sitios web de asociaciones empresariales del sector eólico. Entre estas fuentes se encuentran REN21, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Red Eléctrica, la Asociación Empresarial Eólica, S&P Global Commodity Insights, BloombergNEF y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

En esta revisión se han utilizado un total de 10 documentos como referencia, con fechas comprendidas entre 2022 y 2024. Para garantizar la relevancia de la información recopilada, se ha optado por no considerar datos anteriores a 2022, ya que estos podrían estar desactualizados y distorsionar las conclusiones. No obstante, se hace una excepción con una referencia al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, fechada en 2014, debido a que la información proporcionada sobre tareas de mantenimiento sigue siendo válida en la actualidad.

Para poder encontrar, dentro de estos portales, las investigaciones y los datos de interés, el criterio de inclusión usado han sido incluir todos aquellos documentos cuyos temas principales sean:

- Informes sobre el mercado actual de energías renovables a nivel mundial.
- Inversiones públicas y privadas en proyectos de energías renovables.
- Políticas gubernamentales en el campo de las energías renovables y energías eólicas a nivel español y europeo.
- Datos sobre el mercado de energías eólicas a nivel europeo y español.
- Información sobre el mercado dedicado al mantenimiento de aerogeneradores.

- Informes y archivos relacionados con la metodología del mantenimiento de aerogeneradores.
- Información sobre la forma en el que las empresas energéticas realizan actualmente el mantenimiento de sus aerogeneradores.

Por otra parte, como criterios de exclusión se han aplicado los siguientes:

- Aquellos documentos datados antes del 2022.
- Archivos con información no contrastada o datos sin fuente definida.
- Informes gubernamentales cuyo plano de actuación no esté comprendido dentro de la UE.
- Información sobre energías sostenibles que no contemple la energía eólica.
- Artículos de opinión.

Diseño Técnico De La Solución Propuesta

Para diseñar este proyecto, se han llevado a cabo diferentes procedimientos para cada una de las partes requeridas del dron. En primer lugar, se ha realizado un estudio de necesidades del sector. Una vez formalizada la idea, se han replanteado distintos problemas a los que el dron debe hacer frente, así como acciones para superar estas barreras.

Una vez conocida la necesidad y los problemas que requiere el diseño, se hicieron varias propuestas a mano para visualizar cómo debía ser el dron, teniendo en cuenta la función que va a desempeñar y los problemas a los que tiene que hacer frente.

Ya con el diseño en papel, se utilizó AutoCad para trasladar el boceto a un diseño 2D con sus respectivas medidas. Posteriormente se le dio forma con Rhinoceros, un programa que permite levantar las figuras y generar objetos en 3D. Con este diseño, se realizaron estudios de materiales para las distintas secciones que forman el dron, de forma que se pudieran optimizar los recursos e hicieran factible la consecución de las acciones a realizar para hacer frente a los principales problemas.

Conocidos los materiales y con el dron diseñado en 3D, se le asignaron dichos materiales al archivo de Rhinoceros para empezar con la generación de los renders. A continuación, se importaron estos archivos para editar con Photoshop las luces y las sombras de estos diseños.

En cuanto al software, se hizo una lluvia de ideas, concepto conocido como Brainstorming, para establecer requisitos y funcionalidades que debía de tener la interfaz en cada panel. Estas ideas, posteriormente, fueron ordenadas por prioridad. Las 3 ideas que encabezaron este orden fueron aplicadas al diseño. Estas interfaces fueron diseñadas con Figma, un software para el diseño y creación de interfaces.

Tras tener todos los diseños de los productos y conociendo el nicho, funcionalidades y objetivos, se empezaron a analizar los componentes existentes en el mercado para poder construir el producto. Con los componentes encontrados, se utilizó eCalc para conocer la compatibilidad entre estos, de forma que se pudiera garantizar una conexión eléctrica eficaz, consiguiendo al mismo tiempo alcanzar los objetivos propuestos como la duración de la batería en vuelo.

Con estos resultados, se importaron estas cifras a AnyLogic, el software que ha permitido realizar simulaciones del dron en un parque eólico. Para ello se le asignaron agentes a cada uno de los objetos de la simulación, consiguiendo de esta forma generar simulaciones multi-agente que facilitaron la generación de gemelos digitales para conocer y predecir el funcionamiento del dron.

Finalmente, con el hardware y software diseñados, análisis eléctricos confirmados y simulaciones generadas, se procedió con las presentaciones finales del producto, así como la búsqueda de competidores con sistemas similares al analizado en este trabajo.

Cálculo Del Plan Financiero

Para determinar la viabilidad de un proyecto, es necesario conocer de primera mano cómo se van a gestionar las finanzas. Para ello, se ha desarrollado un análisis financiero basado en hipótesis que evalúan el desempeño del proyecto en un sector. En este plan financiero se analiza lo siguiente:

inversión inicial, precios, cuotas de mercado, ingresos, costes, pérdidas y ganancias, ROI y Payback, y Umbral de Rentabilidad. La actividad realizada para estimar los resultados y generar las hipótesis ha sido explicada detalladamente en el punto *Plan Financiero*, dentro del apartado *Resultados*.

Resultados

Tras seguir la metodología anteriormente expuesta, analizar el contexto que envuelve al mercado de las energías renovables y eólicas, estudiar el diseño y las funcionalidades de la solución, realizar simulaciones para comprobar los datos obtenidos y llevar a cabo un plan financiero que nos permita valorar la viabilidad de e-Preve, se han obtenido los siguientes resultados:

El mercado de las energías renovables está viviendo una tendencia al alza frente a la disminución de aquellas basadas en combustibles fósiles. Este creciente interés viene respaldado tanto por políticas europeas y nacionales como por un aumento de la inversión de las propias empresas energéticas, quienes cada año destinan más recursos a este tipo de energías. Esta tendencia ha permitido observar un aumento de la generación de energías renovables y por lo tanto una mayor oferta de este tipo de energías a particulares y empresas.

Por otra parte, y haciendo foco en la energía eólica, podemos situar a España como una de las grandes potencias en cuanto a producción de energía eólica se refiere, consiguiendo acumular en 2023 un total de 30.000 MW de potencia. Esta situación ha propiciado la aprobación de leyes que protegen y fomentan el uso y generación de la energía eólica en España y Europa.

Estos datos influyen indirectamente en aquellas empresas cuyos productos y/o servicios estén dirigidos a los aerogeneradores, campos eólicos o empresas energéticas. Centrándonos en el mantenimiento de aerogeneradores, servicio esencial para que el sector de la energía eólica sea efectivo, se ha podido comprobar que la gran parte de empresas energéticas españolas tienen su propio mantenimiento, por lo que no requieren de servicios externos para efectuar estos trabajos.

El mantenimiento de los aerogeneradores, excepto Iberdrola es íntegramente efectuado por operarios, que realizan inspecciones, reparaciones y recambios de piezas entre otros. La realización de estas actividades por parte de operarios supone, en gran medida un riesgo para su integridad física, ya que tienen que tanto para tareas de inspección como de reparación tienen que enfrentarse a riesgos como caídas y lesiones graves (debido a resbalones o fallos en el equipo de seguridad), o condiciones climáticas adversas entre otros. Sin embargo, no son solo los operarios a quienes el mantenimiento realizado íntegramente por operarios puede suponer un riesgo, y es que debido al coste y riesgo que supone el mantenimiento la frecuencia con la que se realizan los mantenimientos preventivos es mínima, aumentando así la posibilidad de roturas, y no solo eso, el error humano puede incrementar la posibilidad de averías.

e-Preve

En esta tesis, se ha trabajado para presentar una solución eficiente y viable para facilitar el mantenimiento de los aerogeneradores, usando tecnología puntera como inteligencia artificial, internet of things o herramientas de big data.

E-Preve, compuesta por un dron autónomo (e-Preve N1), una estación integral para el aterrizaje carga y resguardo (e-Preve N1 Box), y una plataforma de análisis de datos (Air Data).

Se instala la e-Preve N1 Box en la góndola de uno de cada cinco aerogeneradores. Dentro de esta estación, se encuentra resguardado el dron e-Preve N1 que realizará inspecciones automáticas periódicas sin necesidad de supervisión constante. Se ha calculado un tiempo medio de 10 minutos de análisis por aerogenerador, siendo equivalente a 3'33 minutos aproximadamente de inspección a cada una de las hélices del molino. Durante estas inspecciones, el dron utilizará sensores y cámaras para analizar la temperatura, detectar roturas y evaluar la gravedad de estas. Las imágenes capturadas serán tratadas por un sistema de inteligencia artificial a través del edge computing, y cuyos resultados serán enviados directamente a la plataforma e-Preve AirData. Esta plataforma generará informes de

datos recogidos minutos después de la inspección, lo que permitirá tomar acciones preventivas basadas en big data y machine learning para identificar posibles anomalías.

Haciendo foco en e-Preve N1, este dron utiliza tecnología de vanguardia, incluyendo sensores y cámaras con capacidades de visión artificial para optimizar su funcionamiento. Para la batería del dron se ha elegido una LiPo con un voltaje de 14.8 V, unas dimensiones de 208 x 92 x 92 mm y una capacidad de 22.000 miliamperios por hora, permitiéndole tener una autonomía de 25 minutos de vuelo y análisis, cubriendo, en un solo vuelo dos aerogeneradores al 100% y volver hasta la base.

Para el diseño del dron, se han estudiado distintas situaciones críticas que e-Preve N1 debería superar. Entre otros, protocolos ante fuertes rachas de viento, temperaturas extremas o lluvias; impermeabilización del dron; estabilización reforzada; componentes adaptados para climas húmedos o extremos.

A pesar de estar enfocado en la recopilación de datos e imágenes de las palas, góndola y torre del aerogenerador mediante sensores y cámaras, los componentes que e-Preve N1 posee, permiten incluir entre sus funcionalidades el análisis de vegetación, analizar el estado de las carreteras cercanas a los aerogeneradores, evaluar la superficie del terreno para determinar la ubicación óptima y rentable de nuevos aerogeneradores.

Los componentes que permiten a e-Preve N1 realizar lo anteriormente definido se pueden clasificar en 4 secciones dependiendo de su funcionalidad y prestaciones. En la sección 1 se encuentra la estructura principal y el motor; la sección 2 que contiene las baterías, el medidor de amperaje y arduino; la sección 3 engloba el variador, controlador de vuelo, receptor, memoria SD, regulador de velocidad, sensor de velocidad, sensor de posición, sensor de viento, sensor de velocidad, sensor de presión barométrica; finalmente, la cuarta sección, formada por la cámara térmica y cámara de imagen. En la tabla 5 se detallan las secciones y componentes que forman el dron e-Preve N1.

Tabla 5. Componentes del dron e-Preve N1 divididos por secciones.

Sección	Componente	Descripción
1	Kit de estructura UAV plegable reconfigurable MES de Lynxmotion	Con un peso total es de 819 gramos el kit es plegable y reconfigurable, facilitando el transporte y permitiendo adaptarse a diferentes necesidades.
	El motor 4114 Emax	Con un diámetro del eje de 4mm y dimensiones de 35 x 46mm, 340KV de vueltas por voltio y empuje máximo de 1680g. Se caracteriza por un perfil plano, que adapta convenientemente a las hélices reduciendo las vibraciones.
2	Batería TA-30C-22000-4S1P	Con una capacidad nominal de 22000mAh y una tasa de descarga máxima de 50C, peso de solo 1677g cada una. Cuenta con un chip que evita la sobrecarga y los cortocircuitos
	Medidor de amperaje GT Power RcMeter180	Con un rango de voltaje de 4'8-60V, alta precisión en la medición del amperaje (capaz de medir corrientes eléctricas de hasta 180 amperios con una precisión de +/- 0.01A) y pantalla LCD con los resultados en tiempo real.
	Arduino	Con unas dimensiones de 35x35x35mm y tiene un peso de 4'9 g, funciona a 12 voltios y cuenta con 12 entradas analógicas y 20 pines I/O digitales, Blackbox 2 MB de datos almacenables, procesador STM32 F303, entrada RC flexible: PPM, SBUS no invertido, PM, etc.
3	Variador Scorpion TRIUNUS 06-120A ESC	Con una capacidad para soportar corrientes de hasta 150A, cuenta con una carcasa de aluminio que protege los circuitos electrónicos. Sus medidas son de 23,7x37x73,8 mm y un peso de 108 gramos.
	Controlador de vuelo HOLYBRO PIXHAWK 5X STANDARD SET	Con un procesador FMU de 32 bits ARM Cortex-M7 a 216 MHz, 2 MB de memoria y 512 KB de RAM, un procesador IO STM32F100 a 32 bits ARM Cortex-M3 a 24 MHz con 8 KB de SRAM. Además, cuenta con una serie de sensores de alta calidad, como el ICM-20649, el ICM-42688P, el ICM-20602, el BMM150 y el BMP388, que garantizan una precisión y una fiabilidad excepcionales en las mediciones. Posee un sistema de aislamiento que filtra las vibraciones de alta frecuencia y reduce el ruido

Sección	Componente	Descripción
	Receptor Nano RX Tracer TBS	Con una latencia extremadamente baja de solo 3ms de extremo a extremo, un alcance de más de 25km, cuenta con diversidad de antenas, compatible con varios protocolos, como 2x CRSF, SBUS, PPM, 6x PWM y SmartAudio 2.0/2.1, con un peso de 0.5g,
	Memoria (transflash) microSD	Con una capacidad de almacenamiento de 128GB, capaz de manejar el volcado de datos de alta frecuencia, permitiendo el uso de Edge Computing
	Regulador de velocidad ESC (Electronic Speed Control)	Con unas medidas de 100 x 100mm, hasta 4 amperios /190 V + 200V, Potenciómetro local, montaje subpanel y comando sin aislamiento galvánico.
	Sensor de velocidad Mocbos (JN 1200)	Con una capacidad de controlar la velocidad del motor en un rango que va desde cero hasta la velocidad nominal, protección contra sobrecarga del motor, capacidad de ajuste para la corriente, velocidad máxima, velocidad mínima y aceleración.
	Sensor de posición DroneCAN GPS	Con un voltaje de 4.7-5.2V, un peso de 56g, diámetro 54mm, y grosor 14.5mm. Este sensor es utilizado en conjunto con los proyectos ArduPilot y PX4, que son dos de los proyectos de código abierto. Incluye un módulo UBLOX M8N, una brújula BMM150 y un indicador LED tricolor.
	Sensor de viento	Con cuatro transductores ultrasónicos dispuestos en ángulo recto para medir la velocidad del viento en tres dimensiones. Es capaz de medir la temperatura del aire en su entorno. Posee una brújula incorporada que permite determinar la dirección absoluta del viento en relación con el norte magnético. Peso: 100g
	Sensor de presión barométrica	Con interfaz de bus SPI e I2C es muy preciso y tiene una resolución de 10 cm/20 cm. Cuenta con un ADC de 24 bits de bajo consumo que proporciona valores digitales precisos de presión y temperatura.
4	Cámara Boson de Teledyne FLIR	Con tecnología avanzada de procesamiento de imágenes y sus capacidades de detección de calor y bajo consumo de energía. Resolución de 640 x 512 - 24° HfoV, 12 µm píxeles, dimensiones de 21 x 21 x 11 mm, (4.9 cm 3), peso

Sección	Componente	Descripción
		de 7'5g, 500 mW y temperaturas máximas de -40°C a +80°C
	Cámara de imagen.	Con un sensor dual de alta calidad, lo que permite mejorar la resolución final, procesador dual core que permite procesar los datos de forma rápida y eficiente, sistema de anti-vibración del software de la cámara ayuda a reducir los movimientos bruscos durante la grabación, conexión WiFi. Peso reducido de solo 18g

En cuanto a los materiales seleccionados para la construcción del dron, se han empleado materiales como fibra de vidrio, aluminio, fibra de carbono y plástico en diversas partes de la estructura del dron, cada uno seleccionado para proporcionar alta resistencia a impactos, ligereza, y capacidad para soportar altas temperaturas con baja expansión térmica, asegurando así un vuelo seguro y estable. La elección precisa de estos materiales es esencial para el prototipo, permitiendo realizar las comprobaciones necesarias para prevenir problemas durante el vuelo y evitar comportamientos impredecibles en el dron.

El e-Preve N1 Box se instalará en la parte superior de la góndola de uno de cada cinco aerogeneradores, permitiendo acceder a la energía generada por el molino correspondiente. Esta estación está compuesta por una estructura exterior, rieles extensibles y una base de carga diseñada para resistir la exposición prolongada a condiciones climáticas adversas sin daños. La estación de carga cuenta con sistemas de ventilación y control de temperatura para prevenir el sobrecalentamiento y proteger los componentes internos del dron. Además, está equipada con mecanismos de seguridad como sistemas de bloqueo y sensores de intrusión.

El funcionamiento de la estación implica extender los rieles a los que el dron se anclará; una vez asegurado, los rieles se pliegan para posicionar la aeronave de manera óptima para el proceso de carga e inspección. Una vez dentro, se utiliza un cargador de batería iCharger 4010DUO, seleccionado

por su capacidad de carga, versatilidad y fiabilidad con baterías de alta potencia. El proceso de carga completo se estima que tomará 42 minutos, dependiendo de la temperatura exterior.

Para concluir, el programa AirData, se encarga de almacenar y tratar todos los datos, imágenes y vídeos que el dron ha recopilado. En ella se podrán visualizar todos los datos recogidos, así como visualizaciones 3D de las hélices, generación de acciones para prevenir acontecimientos, así como ofrecer acciones y/o recomendaciones como mantenimiento preventivo o detectar anomalías entre los datos. Se ha trabajado para que la interfaz sea atractiva, pero sobre todo intuitiva para el usuario, incluyendo un sistema de guiado que facilita el proceso de integración, ya que está preparado para avisar en caso de no realizar correctamente un paso.

Plan Financiero

Detallando los resultados acerca de la viabilidad del proyecto, se procede con los resultados económicos que esta solución ha mostrado con los análisis que se han llevado a cabo. Según se ha analizado y teniendo en cuenta los costes tanto de personal necesario como la preparación, fabricación y puesta a punto del dron y venta, se ha estimado una inversión inicial de 294.140'62€, se puede ampliar más información consultando el Apéndice E acerca de la Inversión Inicial.

En este mismo anexo, se observa una división entre Precio Fábrica Producto (sección izquierda), que engloba cada uno de los componentes esenciales que requiere la fabricación de dron, desde los materiales hasta el cableado, tornillos y componentes internos; y, la Inversión Inicial (sección derecha) requerida, resultado de la suma de una estimación del equipo necesario para llevar a cabo el desarrollo hardware, software y negocio, la fabricación de la aeronave y su puesto de carga, junto con un margen de maniobra destinado a prueba y error, y el marketing necesario para posicionar esta tecnología en el mercado.

Una vez conocida la inversión inicial, se fijan los precios de este producto, calculados a partir de la suma de los costes e inversiones realizadas para su desarrollo, con un margen de beneficio añadido del 35%, incluyendo también el IVA del 21%.

Si se consulta el Apéndice F sobre Precios, se puede observar por una parte el precio calculado del hardware, y, por otra parte, el software con sus distintas tarifas propuestas y cuyas funcionalidades son detalladas en el *e-Preve AirData*. Profundizando en los precios del dron y su punto de carga, estos han sido calculados con la suma del coste de fábrica, y costes indirectos añadidos como la inversión en i+D y marketing. Estos costes indirectos han sido calculados trasladando la inversión anual sobre sus respectivas acciones al coste diario que le supone al proyecto. Una vez analizados costes directos e indirectos, se aplica un margen de beneficio del 35%. De esta forma se ha conseguido también obtener los precios para las distintas tarifas propuestas para el software. Sin embargo, esta vez se le ha aplicado un margen de beneficio del 70%. Esta forma de estimar los precios del proyecto proporciona los resultados siguientes: e-Preve N1 y N1 Box tendrán un precio total de 25.000€, con un beneficio de 5.353,11€ por venta, y la herramienta que proporciona de forma visual los datos recogidos contará con 2 tarifas de 50€ y 120€ mensuales, dependiendo de las funcionalidades detalladas y del objetivo final del cliente.

Otra parte importante del análisis financiero de este proyecto es la cuota de mercado que se pretende abarcar Apéndice G. Este análisis ayuda a entender cómo conseguir ventas, y proporciona la información necesaria para, posteriormente, desarrollar diferentes escenarios que determinen la viabilidad de esta solución. Es importante destacar las 3 opciones distintas donde poder conseguir las ventas: ferias, personal comercial y redes sociales profesionales. Cada una de estas opciones tiene una estimación distinta, con diferentes objetivos de venta. Para conseguir visualizar estos escenarios, es necesario entender su desarrollo, por ello se explica a continuación cómo se han analizado los objetivos de venta.

Uno de los pilares fundamentales de un proyecto son los objetivos de ventas planteados al inicio y cómo conseguir llegar a ellos. En este proyecto, se han planteado 3 formas distintas de conseguir los objetivos, y en este párrafo se detalla el procedimiento seguido en el primero de ellos, la presencia en ferias. Como se puede observar en la columna de la izquierda, el primer y más

importante punto *Ferías Energía* indica el objetivo fijado de asistencia. Por ejemplo, el año 2 se deberá asistir a un total de 5 ferias. En la parte inferior de este punto se muestran las empresas generadoras de energía que suelen asistir de media por feria, y el promedio de aerogeneradores de cada una de estas empresas. De esta forma se puede calcular a cuántas empresas se podría acceder según el objetivo de presencialidad estimado en ferias, y el total de aerogeneradores que poseen estas empresas objetivo. Con estos datos, solamente se tiene que poner un objetivo de ventas sobre el total de empresas asistentes en las ferias. El objetivo propuesto para el primer año de ventas es conseguir un 5% de clientes por feria, y acceder a 0,2% de los aerogeneradores de estas empresas. El resultado de estos porcentajes es: 1 cliente para servicio Saas (Software As a Service), y 17 aerogeneradores. Se recuerda que la tarifa Premium es requerida con una compra de hardware, mientras que la tarifa Standard puede ser adquirida sin la necesidad del hardware. Una vez conocidos estos datos, solamente faltaría trasladarlo a nivel de producto, es decir, un cliente para software supondría una venta de software (tarifa Standard), y 17 aerogeneradores supondría un total de 4 (resultado al alza) drones. Como bien se detalla en el punto *Solución Propuesta*, un dron es capaz de abarcar un rango de hasta 5 aerogeneradores.

En cuanto a los ingresos, se plantean 3 escenarios distintos para este proyecto: escenario probable, optimista y pesimista. Continuando con el ejemplo del año 1, se muestran los ingresos según procedencia. Por una parte, se detallan los ingresos provenientes de e-Preve Air Data, y por otra parte las ventas de hardware. En las casillas adjuntas a cada una de estas se encuentra la suma de las ventas estimadas tanto en ferias, personal comercial y redes sociales. Por ejemplo, según la cuota de mercado analizada, el año 1 se podría acceder a un total de 2 clientes software (dato adjunto en la tarifa Standard) y 29 ventas de hardware, a lo que siguen 29 tarifas Premium requeridas tras la compra del dron.

El resto de los escenarios se han desarrollado del mismo modo, pero con una pequeña alteración en los datos. Según escenario, se ha aumentado o disminuido en un 50% todos los datos, afectando de esta manera a los ingresos obtenidos.

Con este procedimiento, y tras realizar los cálculos de las ventas con los precios equivalentes acerca del hardware (pago único) y del software (pago mensual), se obtienen los resultados siguientes: 8.330.380€ de ingresos brutos en un escenario probable a 5 años vista. Información detallada en el Apéndice H.

No obstante, los costes es un factor que se debe tener en cuenta ya que la fabricación de hardware no es todo lo escalable que podría ser un producto software. En este análisis se han tenido en cuenta los costes totales estimados provenientes de las siguientes ramas: personal, tecnología, marketing y ventas, operaciones y fabricación. Además, se estima un crecimiento del personal en el escenario planteado a largo plazo. Como resultado final, se puede observar cómo los costes ascienden de forma continua hasta un total de 5.143.144,47€ el quinto año, consultar detalles en el Apéndice I.

Conocidos los ingresos y los costes, se analizan las pérdidas y ganancias para mostrar el beneficio neto y la facturación acumulada del proyecto en un escenario probable. Además, se detallan los porcentajes de crecimiento entre un año u otro, conociendo de esta forma aquellos puntos donde se intensifica dicho crecimiento, y de qué forma los números obtenidos varían. El resultado final que proporciona la tabla desarrollada estima unos beneficios netos al quinto año analizado de 3.187.235,53€. Información detallada en el Apéndice J.

Finalmente, los datos más relevantes para conocer la viabilidad de un proyecto son los siguientes: ROI (Return Of Investment), Payback y BEP (Break Even Point). En el Apéndice K se podrá encontrar toda la información detallada acerca del análisis de ROI y Payback. También se puede observar el Apéndice L donde se encuentra el BEP, también conocido como Umbral de Rentabilidad o Punto Muerto.

Para analizar el ROI y el Payback, se divide una tabla para cada uno de sus cálculos. En la tabla izquierda se realiza una comparativa de los distintos ROIs calculados según escenario. Se observa como el escenario probable tiene un ROI del 61,97%, porcentaje que nos indica que por cada euro invertido se podría obtener un retorno de 0,61 céntimos de beneficio aproximadamente. Otro ejemplo que define mejor este indicador sería el siguiente: si invertimos 100 euros con un ROI del 61,97%, el resultado final obtenido de la inversión será de 161,97€. Para llegar a este resultado, se ha utilizado la fórmula del ROI: $(\text{Ingresos} - \text{Inversión}) / \text{Inversión} \times 100$.

Por otra parte, si se observa la tabla de la derecha se verá cómo se ha calculado el Payback. Este indicador mide en cuánto tiempo se podrá recuperar el dinero invertido. En este caso, el resultado obtenido es de 2'05, equivalente a 2 años y 16 días. El análisis de este resultado ha sido realizado de la siguiente manera: $\text{Año antes de recuperar} + \text{Valor absoluto del flujo por recuperar (ABS)} / \text{Flujo del año donde se recupera la inversión}$.

Finalmente, el Punto Muerto o Umbral de Rentabilidad, definido como BEP, indica cuántas unidades deben ser vendidas para conseguir cubrir los costes. El BEP indica la cantidad necesaria para encontrar el punto de equilibrio donde los costes igualan a los ingresos. La fórmula para calcular este resultado es la siguiente: $\text{Costes Fijos} / (\text{Precio de Venta Unitario} - \text{Coste Variable por unidad})$. Con este método, el resultado obtenido es de 10,44 unidades, es decir, un total de 11 drones tienen que ser vendidos para cubrir los costes y empezar a generar beneficios. En la gráfica de este mismo anexo se puede observar el momento donde los costes totales (línea amarilla) se cruzan con los ingresos totales (línea verde).

Discusión

Después de analizar la información anteriormente detallada y estudiar los resultados tanto del análisis del contexto como de la solución propuesta, se puede observar que el objetivo principal de esta tesis es proporcionar una alternativa al proceso de mantenimiento de los aerogeneradores.

En la actualidad, el sector de las energías renovables está experimentando un crecimiento significativo, motivado por el reconocimiento por parte de gobiernos y empresas privadas de su impacto positivo en la economía y la sociedad. Este reconocimiento ha dado lugar a un aumento en las políticas de apoyo a las energías renovables y a una mayor inversión tanto pública como privada en este ámbito.

En este entorno favorable, se promueve la creación de trabajos y proyectos innovadores con el objetivo de mejorar el uso, servicio y gestión de las energías renovables. En este contexto surge e-Preve, una solución integral que incluye un dron autónomo, una estación de carga y protección, y un programa de gestión de datos. Este conjunto de componentes de última generación transformará los estándares actuales de mantenimiento y promoverá enfoques preventivos y predictivos mediante el uso combinado de herramientas de inteligencia artificial, big data y computación Edge.

Este proyecto tiene como objetivo introducir innovación en el mercado del mantenimiento, ya sea ofreciendo servicios a grandes empresas de energía o como un producto que pueda ser adquirido y utilizado por ellas mismas, siguiendo el ejemplo de empresas como Iberdrola.

Como se ha analizado a lo largo de la tesis, se ha mostrado distintos aspectos a tener en cuenta para construir el producto principal, el dron, así como los componentes y materiales óptimos para su correcto funcionamiento. Se han mostrado también los resultados finales tanto de funcionamiento como económicos.

Con toda la información compartida en este documento, se puede confirmar que tenemos un dron completamente funcional, analizado con programas tanto de simulación electrónica como en el propio parque eólico. Ya se han conocido y explicado los datos recogidos, viendo de esta forma la capacidad operativa que puede tener el producto desarrollado en esta tesis.

Por otra parte, se conocen también los resultados económicos que engloban este proyecto. A pesar de ser estimaciones, se han propuesto varios escenarios tanto positivos como negativos que permiten conocer la variabilidad de estos resultados. Sin embargo, si se visualiza el escenario neutro o probable, se puede llegar a la conclusión de que es un proyecto totalmente viable, si tenemos en cuenta los costes que se han establecido.

Finalmente, y relacionando esta discusión con los objetivos iniciales y los resultados obtenidos, se puede afirmar que el proyecto cumple con los objetivos planteados: la optimización de la eficiencia del mantenimiento de aerogeneradores y la reducción de las averías apostando por el mantenimiento predictivo y preventivo. Se ha conseguido investigar, analizar y desarrollar un producto que optimiza los procesos de mantenimiento en aerogeneradores y, a su vez, es capaz de reducir las averías gracias a sistemas de información que predicen comportamientos. Además de estos objetivos, también ha sido un reto conseguir que este proyecto sea viable. Por esta razón, se han analizado distintos componentes, funcionalidades y materiales con el objetivo de conseguir reducir costes pero manteniendo ciertos niveles de calidad que hagan el dron completamente funcional, es decir, que sea capaz de realizar las tareas para las que ha sido desarrollado, teniendo en cuenta los painpoints a los que deberá hacer frente, como podría ser el caso de fuertes rachas de viento.

En definitiva, se ha perseguido buscar un producto completamente funcional junto con un proyecto viable a largo plazo. Y, como discusión final, se confirma el logro de este objetivo, conseguido tras una investigación actualizada y un desarrollo de producto con tecnologías de última generación.

Referencias

REN21 Renewables Now (2023). Renewables 2023 Global Status Report: Global Overview,

ISBN 978-3-948393-11-3, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2023_GlobalOverview_Full_Report_with_endnotes_web.pdf

International Renewable Energy Agency (21 de marzo de 2023). La expansión de la generación de electricidad renovable en 2022 confirma la tendencia al alza de las renovables frente a la disminución de la capacidad nueva basada en combustibles fósiles.

<https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Record-Growth-in-Renewables-Achieved-Despite-Energy-Crisis-ES>

IRENA (2023), Renewable capacity statistics 2023, International Renewable Energy Agency,

Abu Dhabi. https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=d2949151ee6a4625b65c82881403c2a7&hash=828925D9581CF6E5B1DEA3599295B353

Ministerio para la Transformación Ecológica y el Reto Demográfico (15 de junio del 2022). La

vicepresidenta Teresa Ribera presenta con REN21 el informe sobre el Estado Global de las Energías Renovables 2022 https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2022/06/la_vicepresidentateresariberapresentaconren21elinformesobreelest.html

Red eléctrica (2024), Informe del Sistema Eléctrico: Informe resumen de energías renovables

2023. https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2024-03/Informe_Renovables_2023.pdf

Asociación Empresarial Eólica (2024). La eólica en España. <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>

Franke, Andres (2024), *Electric power, Energy transition: Europe forecast to add 262 GW new wind capacity by 2030: WindEurope*. S&P Global Commodity Insights. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/022824-europe-forecast-to-add-262-gw-new-wind-capacity-by-2030-windeurope>

Franke, Andres (2024), *Electric power, Energy transition Europe's December wind output rises 43% on year to record 63 TWh*. S&P Global Commodity Insights. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/electric-power/022824-europe-forecast-to-add-262-gw-new-wind-capacity-by-2030-windeurope>

Catsaros, Oktavia (2024), *China's Goldwind Retains Turbine Supplier Lead, as Global Wind Additions Hit New High*. According to BloombergNEF. *BloombergNEF*. <https://about.bnef.com/blog/chinas-goldwind-retains-turbine-supplier-lead-as-global-wind-additions-hit-new-high-according-to-bloombergnef/>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (2014). *Nota Técnica de Prevención: Aerogeneradores (II): Riesgos laborales en las operaciones de mantenimiento*. <https://www.aeeolica.org/uploads/documents/10171-aerogeneradores-ii-riesgos-laborales-en-las-operaciones-de-mantenimiento.pdf>

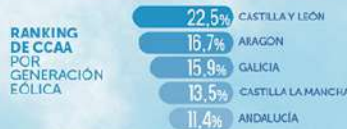
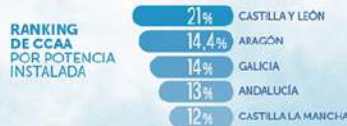
Apéndices

Apéndice A. Infografía de las principales cifras del sector eólico en España

PRINCIPALES CIFRAS DEL SECTOR EÓLICO EN ESPAÑA



COBERTURA Y POTENCIA



47 provincias cuentan con generación eólica, de las cuales 20 generan más de 1 TWh de electricidad gracias al viento.

APORTACIÓN AL PIB



EXPORTACIONES



MEDIO AMBIENTE



INDUSTRIA EÓLICA



EMPLEO



AHORRO



INVERSIÓN EN I+D



TRIBUTOS E IMPUESTOS PAGADOS POR EL SECTOR EÓLICO EN 2022

Carga fiscal es un 57% más que el coste de personal

851 M€

DATOS MUNDIALES

GENERACIÓN EÓLICA
2.105 TWh
50% DE LA GENERACIÓN EERR
7% DE LA GENERACIÓN TOTAL

POTENCIA EÓLICA INSTALADA EN EL MUNDO
906.218 MW

NUEVA POTENCIA INSTALADA EN 2022
77.587 MW

9% INCREMENTO CON RESPECTO A 2021

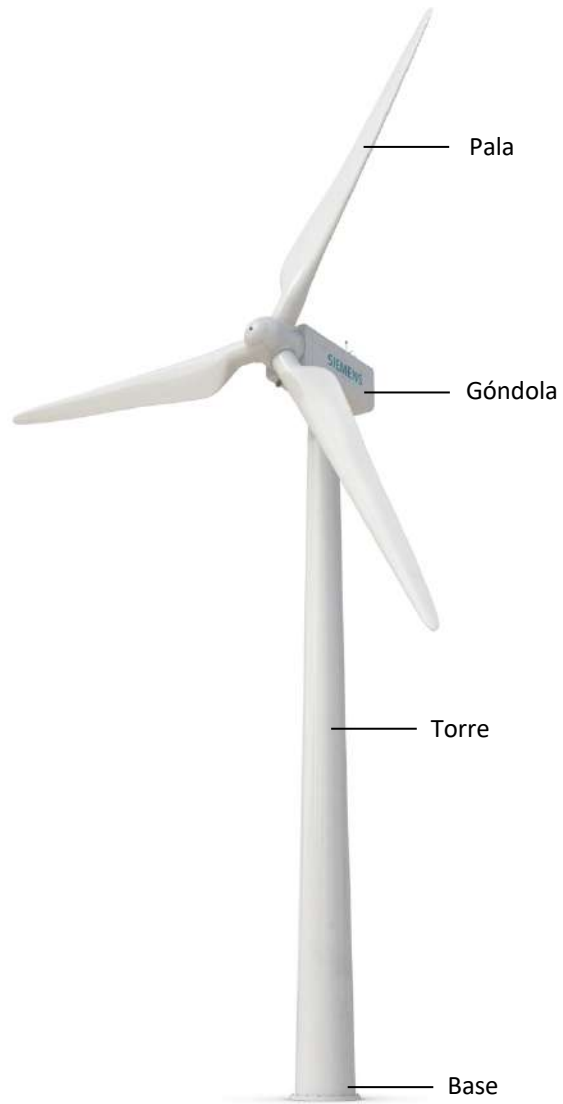
68.816 MW TERRESTRE

8.771 MW MARINA

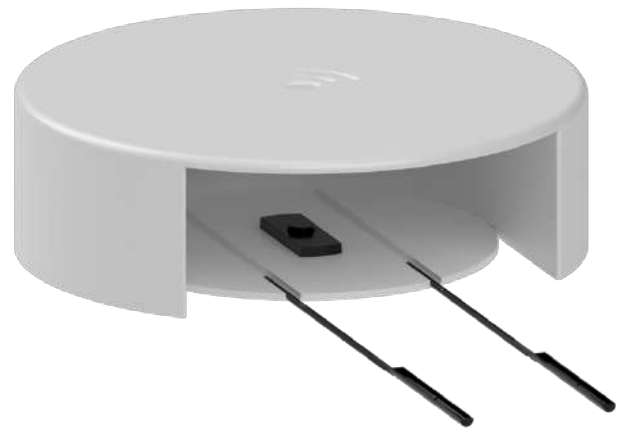
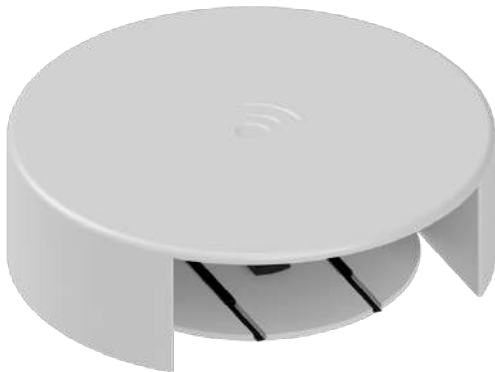


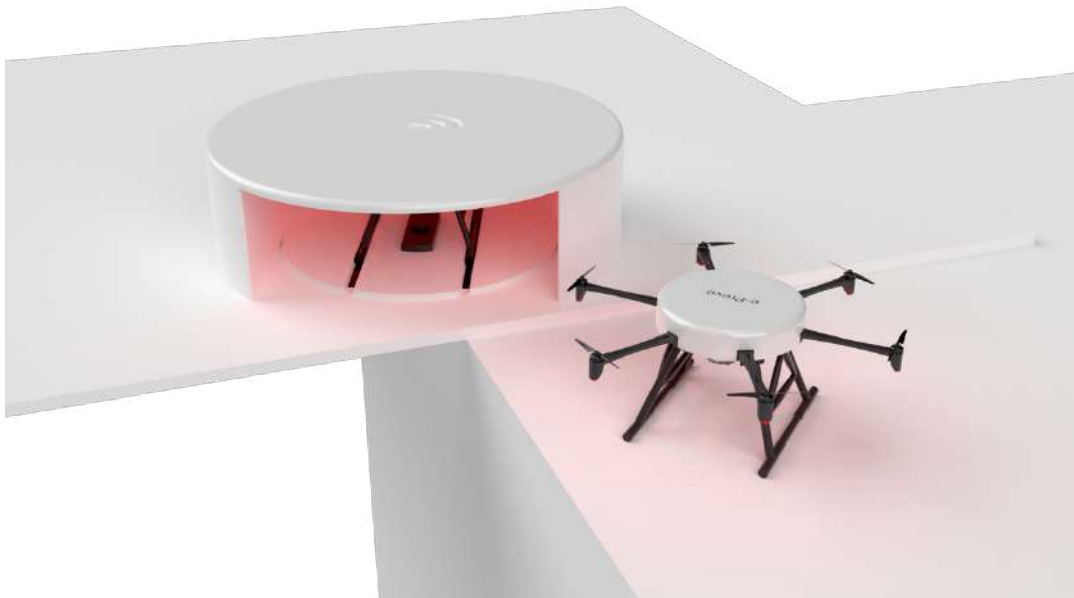
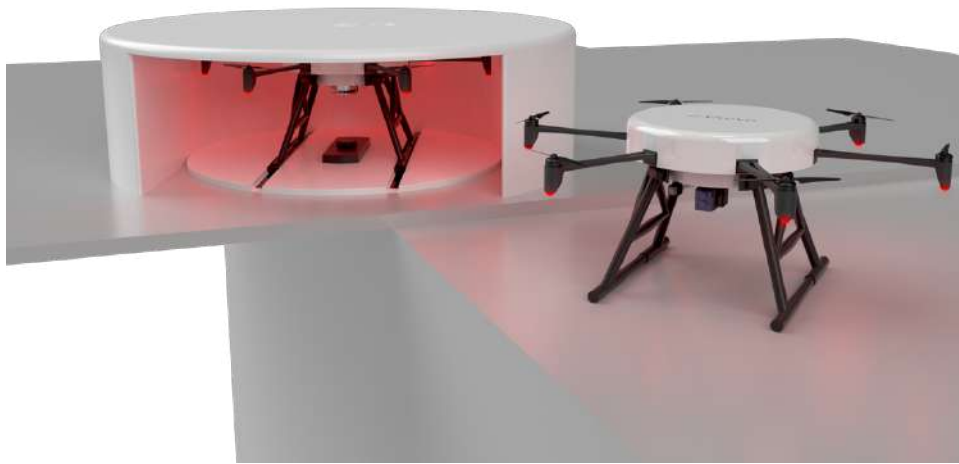
ESPAÑA **2º PAÍS EN EUROPA** POR POTENCIA INSTALADA

1º Alemania | 2º España

Apéndice B. Partes principales de un aerogenerador común.

Apéndice C. Diseños renderizados de las soluciones propuestas.







Sign In

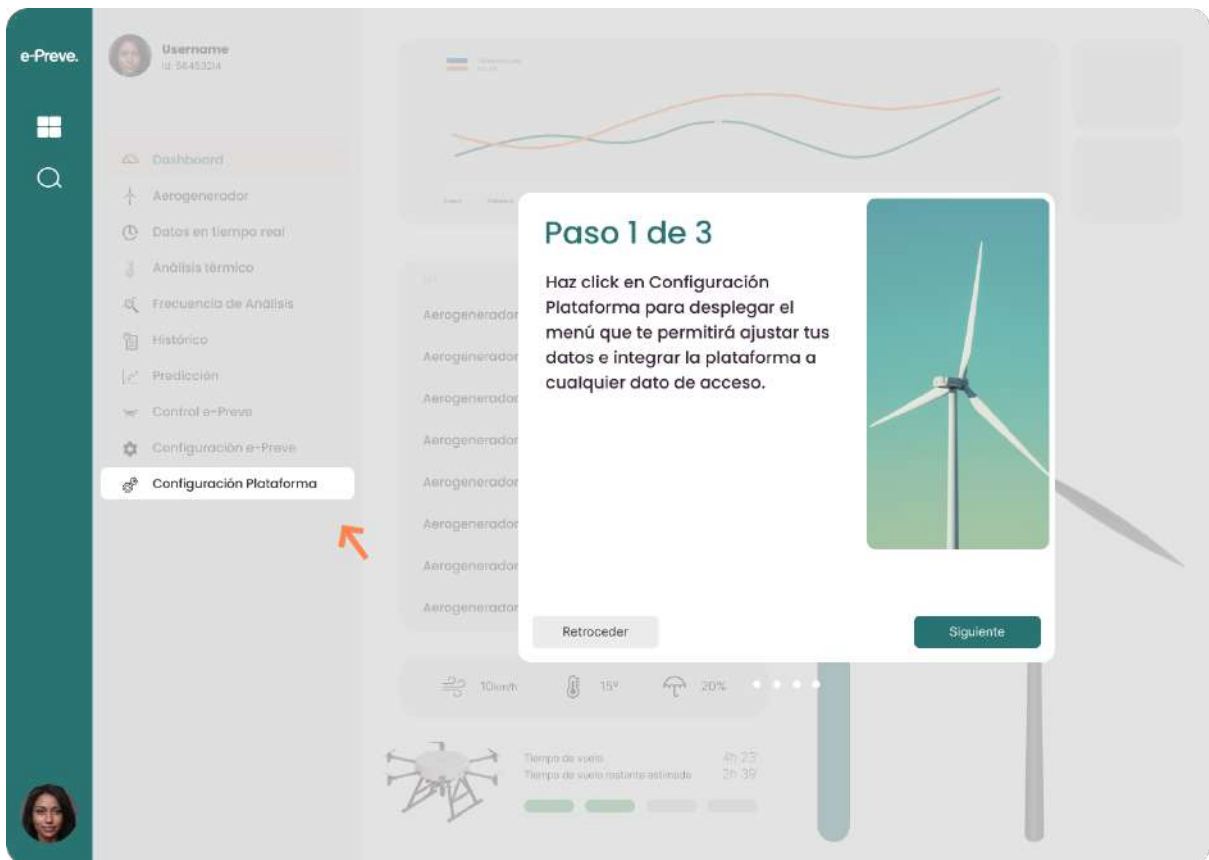
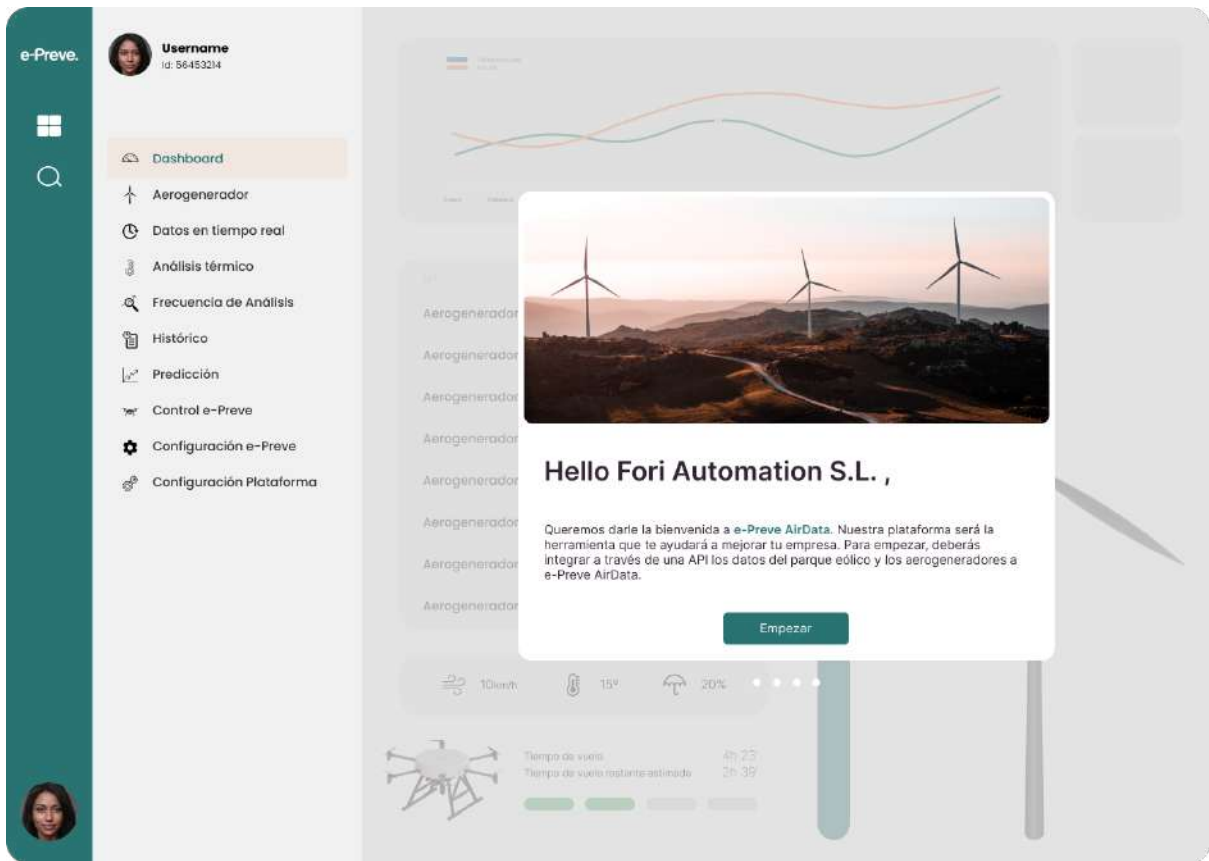
Create an account to explore your drone

Email

Password

e-Preve ID

Join Up



e-Preve.  **Username**
id: 56453214

- Dashboard
- Aerogenerador
- Datos en tiempo real
- Análisis térmico
- Frecuencia de Análisis
- Histórico
- Predicción
- Control e-Preve
- Configuración e-Preve
- Configuración Plataforma



Get Your Data

API Reference	Wind Farm Valencia	Editar
Endpoint	https://api.wind./cnuw/list_id	Editar
HTTP Method	GET	Editar
OAuth	Required	Editar
windfarm_id	4156bhj264NKL6153Hnkjj	Editar
market	ES	Editar
field	Energy	Editar

Console


e-Preve.  **Username**
id: 56453214

- Dashboard
- Aerogenerador
- Datos en tiempo real
- Análisis térmico
- Frecuencia de Análisis
- Histórico
- Predicción
- Control e-Preve
- Configuración e-Preve
- Configuración Plataforma



e-Preve N1

Activar

 86%

Helices


Motor

Procesador

Sensores

Almacenamiento

N1



Tiempo de vuelo
Tiempo de vuelo restante estimado

4h 23'
2h 39'

10km/h
 15°
 20%


e-Preve N1 Box N1:

Consumo medio 0,5 kWh

Energía total por carga 3 kWh

Averías -

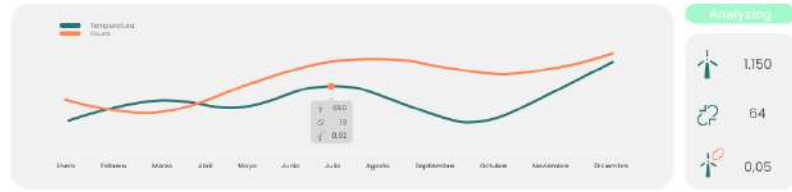
Puntos de referencia



Nº 268

e-Preve. Username
id: 56453214

- Dashboard
- Aerogenerador
- Datos en tiempo real
- Análisis térmico
- Frecuencia de Análisis
- Histórico
- Predicción
- Control e-Preve
- Configuración e-Preve
- Configuración Plataforma



Analyzing

- 1,150
- 64
- 0,05

Nº	Análisis	Flaura
Aerogenerador 1	100%	No
Aerogenerador 2	100%	Si
Aerogenerador 3	100%	No
Aerogenerador 4	100%	No
Aerogenerador 5	100%	No
Aerogenerador 6	100%	No
Aerogenerador 7	100%	Si
Aerogenerador 8	100%	Si

81%
Analizando...

48min
Tiempo de análisis

10km/h 15° 20%

Tiempo de vuelo 4h 23'
Tiempo de vuelo restante estimado 2h 39'

e-Preve. Username
id: 56453214

- Dashboard
- Aerogenerador
- Datos en tiempo real
- Análisis térmico
- Frecuencia de Análisis
- Histórico
- Predicción
- Control e-Preve
- Configuración e-Preve
- Configuración Plataforma

Aerogenerador

Descargar Visualización

	Tiempo de análisis	Porcentaje Analizado	Temperatura	Flaura	Tipo de Flaura	Revisión
Aerogenerador 1	13:53'	89%	Green	No	-	No
Aerogenerador 2	13:32'	87%	Green	Si	Leve	No
Aerogenerador 3	12:35'	78%	Green	Si	Leve	No
Aerogenerador 4	14:10'	100%	Green	Si	Leve	No
Aerogenerador 5	17:46'	82%	Red	Si	Grave	Si
Aerogenerador 6	10:13'	89%	Green	Si	Leve	No
Aerogenerador 7	12:28'	89%	Green	Si	Leve	No
Aerogenerador 8	13:42'	82%	Yellow	Si	Leve	No
Aerogenerador 9	12:59'	96%	Green	Si	Leve	No
Aerogenerador 10	12:56'	92%	Green	Si	Leve	No

e-Preve.  Username
id: 56453214









- Dashboard
- Aerogenerador**
- Datos en tiempo real
- Análisis térmico
- Frecuencia de Análisis
- Histórico
- Predicción
- Control e-Preve
- Configuración e-Preve
- Configuración Plataforma



Aerogenerador

Descargar 

Visualización 

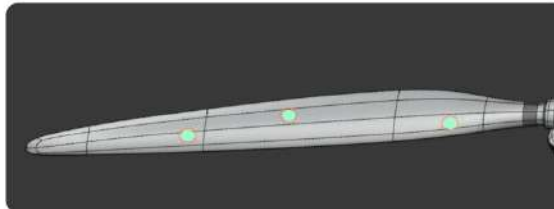
	Tiempo de análisis	Porcentaje Analizado	Temperatura	Fisuras	Tipo de Fisura	Revisión
↑ Aerogenerador 1	13:53'	89%		No	-	No
Hélice 1	Fisura	Duración	Temperatura			Ver estado
Hélice 2	No	3:28'	✓			Ver estado
Hélice 2	No	3:27'	✓			Ver estado
↑ Aerogenerador 2	13:32'	87%		Si	Leve	No
↑ Aerogenerador 3	12:35'	78%		Si	Leve	No
↑ Aerogenerador 4	14:10'	100%		Si	Leve	No
↑ Aerogenerador 5	17:48'	82%		Si	Grave	Si
↑ Aerogenerador 6	10:13'	89%		Si	Leve	No
↑ Aerogenerador 7	12:28'	89%		Si	Leve	No
↑ Aerogenerador 8	13:42'	82%		Si	Leve	No

e-Preve.  Username
id: 56453214

- Dashboard
- Aerogenerador**
- Datos en tiempo real
- Análisis térmico
- Frecuencia de Análisis
- Histórico
- Predicción
- Control e-Preve
- Configuración e-Preve
- Configuración Plataforma



Hélice 1



Aerogenerador	Riesgo de rotura	Longitud	Incidente	Fiabilidad
234789	Alto	0,3 cm	Si	94%
543626	Bajo	0,1 cm	Si	91%
326536	Alto	0,09 cm	Si	92%
653266	Bajo	0,13 cm	Si	97%
632566	Bajo	0,2 cm	Si	89%
233636	Medio	0,05 cm	Si	90%
346327	Alto	0,3 cm	Si	92%
234789	Alto	0,4 cm	Si	94%
764377	Alto	0,3 cm	Si	94%
234789	Bajo	0,3 cm	Si	93%
234789	Alto	0,5 cm	Si	91%

Apéndice D. Tabla de riesgos asociados al vuelo y análisis del dron

Riesgo	Definición
Falta de estabilidad durante el vuelo	<p>Puede haber situaciones que afecten a la estabilidad del vuelo. Las condiciones climáticas adversas, como fuertes rachas de viento, son uno de los riesgos más comunes a los que el dron deberá enfrentarse mientras se encuentra en el proceso de análisis. Las rachas fuertes pueden afectar la capacidad de maniobra y la estabilidad del dron en el aire, aumentando el riesgo de colisión con los aerogeneradores y dañando el equipo.</p> <p>Para minimizar este riesgo, e-Preve N1 cuenta con un sistema de calibración y verificación de condiciones ambientales que está reflejado en el software, lo que aumenta su precisión y confiabilidad. Con este sistema, el dron asegura un funcionamiento óptimo y detecta cualquier problema técnico antes de que ocurra un accidente.</p> <p>Además, el uso del sistema de posicionamiento global (GPS) y sistemas de estabilización en tiempo real ayuda a mantener la estabilidad del dron en condiciones climáticas adversas. Estos sistemas pueden detectar cualquier desviación en la trayectoria del dron y corregirla de manera automática, lo que reduce el riesgo de colisiones aumentando la seguridad del vuelo.</p>
Pérdida de Señal	<p>Es crucial que el sistema de comunicación del dron sea seguro y confiable, ya que cualquier falla o interferencia puede resultar en graves consecuencias. Si el dron sufre una pérdida de señal, puede causar daños, tanto en el equipo de monitoreo como en el propio dron.</p> <p>Para minimizar este riesgo, nuestro dron cuenta con protocolos de comunicación seguros, como la utilización de canales de comunicación cifrados. Donde se llevan a cabo pruebas de alcance de señal para determinar los límites de la comunicación y garantizar que el dron esté dentro del alcance de la señal del control remoto en todo momento.</p> <p>Además de esto, nuestro dron cuenta con un sistema de seguridad llamado "retorno a casa" automático en caso de pérdida de señal. De esta manera, el dron vuelve automáticamente a su punto de origen en lugar de continuar volando sin control y correr el riesgo de estrellarse.</p>
Problemas en la Batería	<p>Las fallas en la batería son una preocupación constante para los usuarios de nuestro dron, ya que una batería defectuosa podría provocar la caída inesperada durante el vuelo.</p> <p>Los riesgos asociados a la pérdida de energía de la batería son minimizados en nuestro dron, gracias al uso de baterías de alta calidad y sistemas de alerta. Este sistema de alerta de bajo nivel de batería, notifica al software cuando la batería del dron está llegando a su fin. Estas medidas garantizan</p>

Riesgo	Definición
Errores de Programación Durante el Vuelo	<p data-bbox="491 264 1394 338">una mayor seguridad y confiabilidad en el análisis de aerogeneradores en parques eólicos mediante el uso del dron.</p> <p data-bbox="491 367 1394 607">Los drones han demostrado ser una herramienta valiosa en diversas áreas, desde la agricultura hasta el monitoreo de infraestructuras críticas como puentes y torres eléctricas. Sin embargo, el uso de drones en estas aplicaciones puede plantear riesgos significativos si no se toman medidas adecuadas para mitigarlos. Uno de estos riesgos es la programación incorrecta de la ruta de vuelo.</p> <p data-bbox="491 636 1394 875">Los errores en la programación de la ruta de vuelo son un riesgo potencial para la seguridad de la operación del dron. Estos errores pueden ser causados por una mala planificación o falta de conocimiento sobre el área de vuelo y las regulaciones aplicables. En caso de que el dron siga una ruta de vuelo incorrecta, puede chocar con obstáculos en el camino o incluso invadir el espacio aéreo restringido.</p> <p data-bbox="491 904 1394 1223">La planificación de la ruta de vuelo es una parte esencial de la operación de nuestro dron, y una mala planificación puede tener consecuencias graves. Por ejemplo, si el dron es programado para volar sobre áreas restringidas como aeropuertos o zonas militares, podría causar una interferencia con otros aviones o incluso ser interceptado por personal de seguridad. Además, si el dron es programado para volar demasiado cerca de obstáculos como edificios o árboles, podría chocar y causar daños materiales o lesiones.</p> <p data-bbox="491 1252 1394 1447">Para minimizar este riesgo, nuestro dron está equipado con un sistema GPS avanzado que le permite planificar y seguir la ruta de vuelo de forma precisa y segura. Este dron también cuenta con tecnología de evasión de obstáculos, lo que significa que pueden detectar obstáculos en su camino y ajustar automáticamente la ruta de vuelo para evitarlos.</p>
Toma y Procesamiento de Imágenes	<p data-bbox="491 1480 1394 1675">El dron utiliza cámaras de alta resolución para tomar imágenes de estos, lo que permite identificar posibles problemas y detectar áreas que necesitan mantenimiento. Sin embargo, los errores en la toma y procesamiento de imágenes pueden afectar la calidad de la información recolectada y la precisión del análisis posterior.</p> <p data-bbox="491 1704 1394 1906">La mala calidad de las imágenes puede deberse a diversos factores, como la falta de enfoque, problemas de iluminación, vibraciones durante el vuelo, entre otros. Estos problemas pueden dificultar la identificación de posibles problemas en los aerogeneradores y, por lo tanto, disminuir la efectividad del monitoreo.</p> <p data-bbox="491 1935 1394 2007">Por otro lado, el procesamiento de imágenes también puede ser susceptible a errores, como la falta de alineación o la detección errónea de</p>

Riesgo	Definición
	<p>objetos. Si no se corrigen estos errores, se pueden identificar problemas inexistentes o pasar por alto problemas reales, lo que puede llevar a decisiones incorrectas sobre el mantenimiento de los aerogeneradores.</p> <p>Para minimizar estos riesgos, el dron cuenta con tecnología avanzada de procesamiento de imágenes y cámaras de alta calidad.</p> <p>Asimismo, se implementa una metodología adecuada para el procesamiento y almacenamiento de las imágenes, en la que se utilizan algoritmos de reconocimiento de patrones para identificar de manera precisa los objetos y posibles problemas en los aerogeneradores.</p> <p>Los riesgos asociados con los errores en la toma y procesamiento de imágenes en el monitoreo de aerogeneradores son minimizados mediante la implementación de tecnología avanzada en el dron, lo cual garantiza que se obtengan imágenes de alta calidad y se reduzcan los análisis imprecisos, aumentando así la eficacia del proceso y garantizando la seguridad del personal y los equipos involucrados.</p>
<p>Presencia de gotas de agua en lente de cámara</p>	<p>La presencia de agua lente de la cámara o suciedad en la misma puede afectar significativamente la calidad de las imágenes capturadas por el dron. Estos factores pueden dificultar la visibilidad y la capacidad de discernir detalles importantes, lo que podría afectar la eficacia del monitoreo de los aerogeneradores.</p> <p>Para minimizar este riesgo, se ha estudiado la implementación de un sistema de protección para la cámara que consiste en filtros y protectores para reducir la cantidad de suciedad y agua que puedan afectar la calidad de las imágenes en el lente de la cámara. Esto también va de la mano con el sistema de monitoreo en tiempo real, el cual permite al operador comprobar que todo está en correcto funcionamiento mediante la visualización de las imágenes capturadas durante el vuelo.</p>
<p>Fallos de geolocalización</p>	<p>Los fallos en el sistema de geolocalización son un riesgo potencial que puede afectar la seguridad y eficiencia del dron durante la operación de monitoreo de los aerogeneradores. Este problema puede ser causado por una variedad de factores, como interferencias electromagnéticas, problemas en la antena del GPS o problemas en la configuración del receptor GPS.</p> <p>Si el sistema de geolocalización falla durante el vuelo, el dron podría perder su posición y no ser capaz de mantener la ruta de vuelo programada, lo que podría resultar en una colisión con los aerogeneradores o incluso en una pérdida total del dron.</p> <p>Para minimizar el riesgo de fallos en el sistema de geolocalización, el dron cuenta con un sistema de posicionamiento que utiliza múltiples fuentes de</p>

Riesgo	Definición
	<p>información para calcular su posición, como el GPS, GLONASS y Galileo. De esta manera, el dron puede compensar la pérdida de señal en una fuente de información con la información obtenida de las otras fuentes. Además, el dron cuenta con una antena GPS de alta sensibilidad para recibir la señal de los satélites con mayor precisión. Los fallos en el sistema de geolocalización pueden ser un riesgo potencial para la operación del dron durante el monitoreo de los aerogeneradores. Sin embargo, mediante la implementación de soluciones como el uso de múltiples fuentes de información para calcular la posición, una antena GPS de alta sensibilidad y la realización de una calibración adecuada antes de cada vuelo, puede minimizar el riesgo y garantizar una operación segura y eficiente del dron.</p>
Problemas en Hélice	<p>La seguridad en la operación del dron es esencial para la eficacia de su uso en el monitoreo y mantenimiento de los aerogeneradores. Uno de los riesgos que pueden afectar la seguridad del vuelo es la falla de una o varias hélices del dron. Si esto ocurriera, el dron perdería su capacidad de sustentación y se estrellaría contra el suelo, lo que podría causar daños materiales y personales.</p> <p>Para minimizar este riesgo, este dron cuenta con sistemas de análisis y diagnóstico de las hélices, que permitan detectar posibles fallas o desgastes antes de que se conviertan en un problema durante el vuelo.</p> <p>Del mismo modo, para la prevención de alguna la falla en las hélices del dron, este incluye hélices de repuesto a bordo. Es decir, si durante el vuelo se detecta una falla en alguna de las hélices, se podría cambiar rápidamente por una nueva para asegurar la continuidad del vuelo y minimizar el riesgo de colisión.</p>
Problemas en Sistema de Carga	<p>Los drones son una herramienta muy útil para la inspección y el mantenimiento de los aerogeneradores, pero también presentan riesgos y desafíos. Entre estos riesgos se encuentran problemas en el sistema de carga del dron, que puede afectar su capacidad para realizar la tarea de análisis.</p> <p>La falta de carga adecuada puede causar que el dron se caiga en pleno vuelo o simplemente no pueda despegar. Sin embargo, este dron cuenta con una batería de alta calidad, que mantiene capacidades de resistencia elevadas.</p> <p>El dron está equipado con un sistema de alerta de bajo nivel de batería, mencionado anteriormente como "retorno a casa". Este se activa de forma automática en caso de pérdida de señal o bajo nivel de batería.</p>
Riesgo de Interferencia con la Avifauna	<p>Los drones pueden ser percibidos como una amenaza por la avifauna local y esto podría resultar en ataques a los drones o interferir en su vuelo. Es</p>

Riesgo	Definición
	<p data-bbox="491 264 1390 338">importante tener en cuenta las regulaciones locales y tomar medidas para minimizar el impacto en la avifauna.</p> <p data-bbox="491 367 1390 562">El riesgo de interferencia con la avifauna es un problema que debe ser tomado en cuenta en el monitoreo de aerogeneradores con drones. La avifauna es un elemento importante en el ecosistema y muchas especies se encuentran en peligro de extinción, por lo que es necesario tomar medidas para minimizar el impacto de los drones en su hábitat natural.</p> <p data-bbox="491 591 1390 786">La solución que se presenta en este trabajo minimiza el riesgo de interferencia con la avifauna. Se trata de una tecnología de detección y evasión de obstáculos. El dron está equipado con sensores y cámara capaces de detectar la presencia de aves y otros obstáculos en su camino y tomar medidas para evitarlos.</p> <p data-bbox="491 815 1390 931">De esta forma se minimiza el riesgo con el objetivo de que se pueda realizar la inspección de aerogeneradores de manera segura y responsable, aún con la intervención de la avifauna.</p>

Apéndice E. Inversión Inicial y coste del prototipo

Precio Fábrica Producto						Año 0	
e-Preve N1							
	€/Kg	Pvp/Ud.	Peso	Cantidad	Total		
Estructura sólida (Fibra de vidrio)		-		-	0,00 €		
Regulador de Velocidad (ESC)		2,77 €		1	2,77 €		
Gimbal		8,88 €		1	8,88 €		
LED (4Ud Pack)		15,99 €		1	15,99 €		
Modificador Amperaje		28,99 €		1	28,99 €		
Sensor Altitud/Altura		15,00 €		1	15,00 €		
Controlador de Vuelo		389,95 €		1	389,95 €		
Sensor de Velocidad		10,43 €		1	10,43 €		
Sensor Viento		559,36 €		1	559,36 €		
Sensor de posición (GPS)		439,00 €		1	439,00 €		
Estructura Hexacoptero		318,90 €		1	318,90 €		
Variador		189,99 €		6	1.019,94 €		
Arduino + Procesador		21,80 €		1	21,80 €		
Hélices (pack 2ud)		49,00 €		2	98,00 €		
Motores		99,84 €		6	599,84 €		
Batería		289,99 €		2	579,98 €		
Tren de Alimentación				2	0,00 €		
Cámara Termográfica		10.024,00 €		1	10.024,00 €		
Receptor		39,99 €		1	39,99 €		
Micro SD		39,95 €		1	39,95 €		
Cableado		35,00 €		1	35,00 €		
Total					14.321,15 €		
e-Preve N1 Box							
	€/Kg	Pvp/Ud.	Peso (kg)	Cantidad	Total		
Estructura sólida		150,00 €		1,5	225,00 €		
Cableado		20,00 €		0,3	6,00 €		
Tornillos		15,00 €		0,5	7,50 €		
Carfil Conexión Drone		100,00 €		1	100,00 €		
Batería				6	0,00 €		
Total					338,50 €		

Inversión Inicial		Año 0		294.140,62 €	
Equipo	meses	Personas	€Mes	€Mes	Total
Software Development	11	1	1.750,00 €		19.250,00 €
Product Development	11	2	1.800,00 €		39.600,00 €
Business Development	11	1	1.500,00 €		16.500,00 €
Total					75.350,00 €
Fabricación					
	Unidad	%			
e-Preve N1	10				142.015,46 €
e-Preve N1 Box	10				3.385,00 €
Margen prueba y error		35%			50.890,16 €
Total					196.290,62 €
Marketing					
Ferias Comerciales					15.000,00 €
Social Media					3.000,00 €
Publicidad Outbound					2.500,00 €
Total					22.500,00 €

Apéndice F. Precios de venta para hardware y software

Producto								
	Coste	Inversión I+D	Inversión Mkt	Margen Beneficio	35%	Precio Estimado	Precio con IVA	Precio Final
e-Preve N1	14.201,55 €	545,25 €	-	5.161,30 €				
e-Preve N1 Box	338,50 €	-	-	118,48 €		20.847,71 €	24.983,73 €	25.000,00 €
e-Preve AirData	-	209,31 €	-	73,26 €				
				5.353,11 €				
Software								
	Coste	Inversión I+D	Inversión Mkt	Margen Beneficio	30%	Precio Estimado	Precio con IVA	Precio Final
e-Preve AirData Standard	10,24 €	1,18 €	2,60 €	9,81 €		23,83 €	28,84 €	50,00 €
e-Preve AirData Premium	31,30 €	22,72 €	2,60 €	39,64 €		96,26 €	116,48 €	120,00 €

Mixte	12
Clas Laborales	225
Honoraria Laboral	8
ClasifMez	30
Remanente	24

Apéndice G. Cálculo de cuotas de mercado

Ferias								
			Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Ferias Energia				1	5	12	20	30
Empresas Generadoras Energia	10 Empresas por feria			10	50	120	200	300
Aerogeneradores	850 Por Empresa			8500	42500	102000	170000	255000
Empresas Objetivo		5%		0,5	2,5	6	10	15
Aerogeneradores Objetivo		0,2%		17	85	204	340	510
Ventas Objetivo (Software)				0,50	2,50	6,00	10,00	15,00
Ventas Objetivo (Hardware)				3,40	17,00	40,80	68,00	102,00
Comercial								
			Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Empresas Generadoras Energia				10	25	50	75	100
Aerogeneradores	850 Por Empresa			8500	21250	42500	63750	85000
Empresas Objetivo		5%		0,50	1,25	2,50	3,75	5,00
Aerogeneradores Objetivo		1%		85,00	212,50	425,00	637,50	850,00
Ventas Objetivo (Software)				0,50	1,25	2,50	3,75	5,00
Ventas Objetivo (Hardware)				17,00	42,50	85,00	127,50	170,00
Media								
			Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Empresas Generadoras Energia				50	100	150	200	250
Aerogeneradores	850 Por Empresa			42500	85000	127500	170000	212500
Empresas Objetivo		2%		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Aerogeneradores Objetivo		0,1%		42,50	85,00	127,50	170,00	212,50
Ventas Objetivo (Software)				1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Ventas Objetivo (Hardware)				8,50	17,00	25,50	34,00	42,50

1 e-Preve N1

5

Aerogeneradores

Apéndice H. Cálculo de ingresos

Revenues											
	Year 0	Growth	Year 1	Growth	Year 2	Growth	Year 3	Growth	Year 4	Growth	Year 5
Venta Software (SaaS)	42.316,00 €		113.610,00 €		224.772,00 €		341.150,00 €		467.880,00 €		
Ventas Totales en e-Preve AI Data			31		82		163		247		340
Tarifa Standard			2,00		5,75		11,50		17,75		25,00
Tarifa Premium			28,90		76,50		151,30		229,50		314,50
Tarifa Standard			1.200,00 €		3.450,00 €		6.900,00 €		10.650,00 €		15.900,00 €
Tarifa Premium			41.616,00 €		110.160,00 €		217.872,00 €		330.480,00 €		452.880,00 €
Venta Hardware			722.500,00 €		1.912.500,00 €		3.782.500,00 €		5.737.500,00 €		7.862.500,00 €
e-Preve N1			28,90	165%	76,50	98%	151,30	52%	229,50	37%	314,50
e-Preve Box			28,90	165%	76,50	98%	151,30	52%	229,50	37%	314,50
TOTAL			785.316,00 €		2.026.110,00 €		4.007.272,00 €		6.078.630,00 €		8.330.380,00 €

Probable

Revenues											
	Year 0	Growth	Year 1	Growth	Year 2	Growth	Year 3	Growth	Year 4	Growth	Year 5
Venta Software (SaaS)	64.224,00 €		170.415,00 €		337.158,00 €		511.896,00 €		701.820,00 €		
Ventas Totales en e-Preve AI Data			46		123		244		371		509
Tarifa Standard			3		9		17		27		38
Tarifa Premium			43		115		227		344		472
Tarifa Standard			1.900,00 €		5.175,00 €		10.350,00 €		15.975,00 €		22.500,00 €
Tarifa Premium			62.424,00 €		185.240,00 €		326.808,00 €		495.720,00 €		679.320,00 €
Venta Hardware			1.083.750,00 €		2.868.750,00 €		5.670.750,00 €		8.506.250,00 €		11.793.750,00 €
e-Preve N1			43	165%	115	118%	227	89%	344	44%	472
e-Preve Box			43	240%	36	118%	227	59%	344	44%	472
TOTAL			1.147.974,00 €		3.039.165,00 €		6.010.908,00 €		9.117.945,00 €		12.496.570,00 €

Optimista

Revenues											
	Year 0	Growth	Year 1	Growth	Year 2	Growth	Year 3	Growth	Year 4	Growth	Year 5
Venta Software (SaaS)	21.408,00 €		56.805,00 €		112.386,00 €		170.565,00 €		233.940,00 €		
Ventas Totales en e-Preve AI Data			15		41		81		124		170
Tarifa Standard			1		3		6		9		13
Tarifa Premium			14		38		76		115		157
Tarifa Standard			800,00 €		1.725,00 €		3.450,00 €		5.325,00 €		7.500,00 €
Tarifa Premium			20.808,00 €		55.080,00 €		108.936,00 €		165.240,00 €		226.440,00 €
Venta Hardware			361.250,00 €		958.250,00 €		1.891.250,00 €		2.886.750,00 €		3.931.250,00 €
e-Preve N1			14	240%	38	118%	76	59%	115	44%	157
e-Preve Box			14		38		76		115		157
TOTAL			382.666,00 €		1.013.055,00 €		2.003.636,00 €		3.038.315,00 €		4.185.190,00 €

Pesimista

Apéndice I. Cálculo de costes

Costes																		
							Year 0	Growth	Year 1	Growth	Year 2	Growth	Year 3	Growth	Year 4	Growth	Year 5	
Personal							75.350,00 €		75.350,00 €		111.100,00 €		277.700,00 €		381.150,00 €		513.700,00 €	
	Desarrollo de Producto	2	2	2	4	8	9	39.600,00 €		39.600,00 €		39.600,00 €		79.200,00 €		158.400,00 €		178.200,00 €
	Desarrollo de Software	1	2	4	6	9	14	19.250,00 €		19.250,00 €		38.500,00 €		115.500,00 €		173.250,00 €		269.500,00 €
	Desarrollo de Negocio	1	2	2	2	3	4	16.500,00 €		16.500,00 €		33.000,00 €		33.000,00 €		49.500,00 €		66.000,00 €
Technology							0,00 €		600,00 €		600,00 €		600,00 €		1.000,00 €		1.100,00 €	
	Servers in AWS								200,00 €		200,00 €		200,00 €		400,00 €		400,00 €	
	Web Maintenance								500,00 €		500,00 €		500,00 €		500,00 €		500,00 €	
	Hosting								100,00 €		100,00 €		100,00 €		200,00 €		200,00 €	
Marketing y Ventas							22.500,00 €		32.500,00 €		32.600,00 €		32.600,00 €		55.000,00 €		55.000,00 €	
	Ferias							15.000,00 €		15.000,00 €		15.000,00 €		15.000,00 €		30.000,00 €		30.000,00 €
	Social Media							5.000,00 €		5.000,00 €		5.000,00 €		5.000,00 €		10.000,00 €		10.000,00 €
	Marketing Outbound							2.500,00 €		10.000,00 €		10.000,00 €		10.000,00 €		10.000,00 €		10.000,00 €
	Promociones y Ofertas								2.500,00 €		2.500,00 €		2.500,00 €		5.000,00 €		5.000,00 €	
Operaciones									500,00 €		500,00 €		500,00 €		500,00 €		500,00 €	
	Legal & Accounting								500,00 €		500,00 €		500,00 €		500,00 €		500,00 €	
Fabricación							196.290,62 €		420.207,33 €		1.112.313,52 €		2.199.908,96 €		3.336.940,56 €		4.672.844,47 €	
	e-Prueba N1						142.015,46 €		410.424,68 €		1.086.418,27 €		2.148.693,91 €		3.259.254,81 €		4.466.386,22 €	
	e-Prueba N1 Box						3.385,00 €		9.782,65 €		26.895,25 €		51.215,05 €		77.685,75 €		106.458,25 €	
	Margen Error						50.890,16 €											
TOTAL							294.140,62 €	80%	529.357,33 €	137%	1.287.213,52 €	96%	2.461.408,96 €	53%	3.774.690,56 €	36%	5.143.144,47 €	

Apéndice K. Cálculo de ROI y Payback

Cálculo ROI				Cálculo Payback		
	Probable	Optimista	Pesimista	Año	Inversión	Pendiente Recuperar
Ingresos	8.330.380,00 €	12.495.570,00 €	4.165.190,00 €	0	-300.000,00€	-300.000,00€
Producto	7.862.500,00 €	11.793.750,00 €	3.931.250,00 €	1	-58.181,95€	-358.181,95€
Servicio	467.880,00 €	701.820,00 €	233.940,00 €	2	710.714,53€	352.532,58€
Costes	5.143.144,47 €	5.143.144,47 €	5.143.144,47 €	3	2.256.577,57€	2.609.110,15€
Personal	513.700,00 €	513.700,00 €	513.700,00 €	4	4.560.517,01€	7.169.627,16€
Tecnología	1.100,00 €	1.100,00 €	1.100,00 €	5	7.747.752,55€	14.917.379,71€
Marketing y Ventas	55.000,00 €	55.000,00 €	55.000,00 €			
Operaciones	500,00 €	500,00 €	500,00 €			
Producto	4.572.844,47 €	4.572.844,47 €	4.572.844,47 €			
Beneficio Operativo						
ROI	61,97%	142,96%	-19,01%	Payback		2,05
				Años		2
				Meses		0
				Días		16

Apéndice L. Cálculo de BEP (Break Even Point)

