



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA


Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNA PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA
PARA UN AERÓDROMO DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS
MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

AUTOR/A: Cánovas Boronat, Adrián

Tutor/a: Laguarda Miró, Nicolás

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Universitat Politècnica de València (UPV)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

UNA PROPUESTA DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA
PARA UN AERÓDROMO DE EXTINCIÓN DE
INCENDIOS MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Adrián Cánovas Boronat

Tutor: Nicolás Laguarda Miró

Titulación: Máster en Ingeniería Aeronáutica

Valencia - Septiembre 2022

Agradecimientos

Este proyecto no solo es el fin a una etapa de 6 años estudiando sobre un mundo tan apasionante como la aeronáutica, sino que da inicio al mundo laboral y a muchas nuevas experiencias. Me gustaría agradecer a mis padres y a mi hermana el apoyo incondicional en todo momento desde que decidí qué camino quería tomar. Han sido un pilar fundamental para evolucionar y desarrollarme como persona, al igual que he trabajado y me he esforzado para hacerles sentir orgullosos de mí.

Por otro lado, también me gustaría agradecerle a mi tutor, Nicolás Laguarda, por todo el tiempo dedicado y la ayuda que me ha proporcionado a lo largo de estos meses para la realización del trabajo.

Resumen

El presente proyecto propone una alternativa de sostenibilidad energética mediante la implementación de las energías renovables en un aeródromo de extinción de incendios. Para ello, se diseña un aeródromo en la comarca de la Marina Alta (Alicante) según las directrices de la OACI y con el programa ArcGIS. Esto incluye el desarrollo de las fases de planificación de aeropuertos, desde la elección del emplazamiento hasta la elaboración de la cartografía, pasando por aspectos tales como la elección de la infraestructura aeroportuaria y las servidumbres aeronáuticas.

Tras el diseño final, se procede a estudiar la implementación de las energías renovables, y en concreto la solar y eólica, como propuesta de sostenibilidad energética realista. A modo de conclusión, este estudio determinará la rentabilidad, tanto económica como energética, de este proyecto innovador que pretende contribuir a la minimización de la emisión de gases de efecto invernadero, y por lo tanto, paliar el cambio climático.

Abstract

This project proposes an alternative for energy sustainability through the implementation of renewable energies in a firefighting aerodrome. To this end, an airfield in the Marina Alta region (Alicante) is designed according to ICAO guidelines and with the ArcGIS programme . This includes the development of the airport planning phases, from the choice of the site to the preparation of the cartography, including aspects such as the choice of airport infrastructure and aeronautical easements.

After the final design, the implementation of renewable energies, specifically solar and wind energy, is studied as a realistic energy sustainability proposal. In conclusion, this study will determine the profitability, both economic and energetic, of this innovative project that aims to contribute to minimising greenhouse gas emissions and, therefore, mitigate climate change.

Resum

El present projecte proposa una alternativa de sostenibilitat energètica mitjançant la implementació de les energies renovables en un aeròdrom d'extinció d'incendis. Per a això, es dissenya un aeròdrom a la comarca de la Marina Alta (Alacant) segons les directrius de la OACI i amb el programa ArcGIS. Això inclou el desenvolupament de les fases de planificació d'aeroports, des de l'elecció de l'emplaçament fins a l'elaboració de la cartografia, passant per aspectes com ara l'elecció de la infraestructura aeroportuària i les servituds aeronàutiques.

Després del disseny final, es procedeix a estudiar la implementació de les energies renovables, i en concret la solar i eòlica, com a proposta de sostenibilitat energètica realista. A manera de conclusió, aquest estudi determinarà la rendibilitat, tant econòmica com energètica, d'aquest projecte innovador que pretén contribuir a la minimització de l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle, i per tant, pal·liar el canvi climàtic.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos y alcance del trabajo	5
1.3. Estado del arte	5
1.4. Justificación y motivación	7
2. Diseño de aeródromo de extinción de incendios	9
2.1. Generalidades	9
2.1.1. Aeronave tipo y clave de referencia	9
2.2. Determinación de la edificación y equipos aeroportuarios	10
2.2.1. Terminal	11
2.2.2. Plataforma de estacionamiento de aeronaves	12
2.2.3. Servicio de extinción de incendios (SEI)	12
2.2.4. Hangares	13
2.2.5. Estación de suministro de combustible y lubricante	13
2.2.6. Torre de Control (TWR)	13
2.2.7. Radioayudas a la navegación	14
2.2.8. Centro de emisores	14
2.2.9. Estación meteorológica	14
2.2.10. Suministro de energía eléctrica	14
2.2.11. Estación depuradora de aguas residuales (EDAR)	15
2.3. Selección del emplazamiento y justificación	15
2.3.1. Estudio de la orografía	15
2.3.2. Proximidad a parajes naturales y bosques	16
2.3.3. Proximidad al mar y otras masas de agua	17
2.3.4. Climatología y estudio de vientos de la zona	17
2.3.5. Vías de comunicación. Accesibilidad	19
2.3.6. Correcciones de altitud y temperatura	19
2.4. Subsistemas de movimientos de aeronaves	20
2.4.1. Pista	20
2.4.2. Calles de rodaje y plataforma de viraje	21
2.4.3. Diseño y dimensiones de la pista y áreas de seguridad	22
2.5. Servidumbres	22
2.5.1. Superficies limitadoras de obstáculos	22
2.5.2. SLO representados sobre el mapa y análisis de vulnerabilidad de servi- dumbres	26
2.6. Elaboración de la cartografía aeronáutica	27
2.6.1. Indicador de lugar	28
2.6.2. Datos de la pista	28
2.6.3. Otros datos de pista	28
2.6.4. Plataforma e infraestructuras	28
2.6.5. Plano de aeródromo	29
3. Energía renovable	30
3.1. Energía solar	30
3.1.1. Evolución histórica de la energía fotovoltaica	30

3.1.2.	Clasificación de la energía fotovoltaica	32
3.1.3.	Principales componentes de la instalación fotovoltaica	33
3.1.4.	Funcionamiento de los paneles solares y el inversor	34
3.1.5.	Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)	37
3.1.6.	Cálculos teóricos sobre los paneles solares.	51
3.1.7.	Presupuesto de la instalación solar	57
3.2.	Energía eólica	57
3.2.1.	Evolución histórica de la energía eólica	58
3.2.2.	Clasificación de la energía eólica	59
3.2.3.	Principales componentes de un aerogenerador	60
3.2.4.	Tipos de aerogeneradores	62
3.2.5.	Funcionamiento de los aerogeneradores	62
3.2.6.	Cálculos teóricos sobre la energía eólica	63
3.2.7.	Presupuesto de la instalación eólica	68
4.	Presupuesto del proyecto	69
5.	Conclusiones	70
A.	Pliego de condiciones	71
A.1.	Alcance	71
A.2.	Resumen del proyecto	71
A.3.	Condiciones del proyecto	71
A.3.1.	Condiciones técnicas	71
A.3.2.	Evaluación de resultados	72
A.3.3.	Condiciones de contrato	72
B.	Plano de aeródromo de extinción de incendios	73
C.	Ficha técnica de los módulos Hiku 370W	74
D.	Ficha técnica de los módulos Hiku 370W	75
E.	Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.	76
F.	Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.	77
G.	Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.	78
H.	Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.	79
I.	Ficha técnica del aerogenerador Enair 200.	80
J.	Ficha técnica del aerogenerador Enair 200.	81
	Referencias	84

Índice de figuras

1.1. Tipos de energía renovables (Fuente: Pinterest)	1
1.2. Generación de energía renovable en el mundo (Fuente: BP Statistical Review of Global Energy).	3
1.3. Estructura de la generación eléctrica de febrero de 2022 (Fuente: Red Eléctrica de España).	4
1.4. Aeropuertos españoles con presencia o interés en energías renovables (Fuente: Aena).	7
2.1. Canadair CL-215T (Fuente: Flickr).	9
2.2. Plano del aeródromo de Requena (LERE) (Fuente: ENAIRE).	11
2.3. Grupo motor eléctrico Baudoin de potencia 137 kVA (Fuente: Agresa).	15
2.4. Terreno disponible de la Marina Alta tras imponer restricciones (Fuente: Elaboración propia).	16
2.5. Zonas a considerar y ubicación final de la pista (Fuente: Elaboración propia).	17
2.6. Rosa de los vientos obtenida (Fuente: Elaboración propia).	18
2.7. Vista aérea de la red de carreteras y localidades cercanas (Fuente: Elaboración propia).	19
2.8. Cotas de la pista y zonas de seguridad (Fuente: Elaboración propia).	22
2.9. Superficie de subida de despegue (Fuente: Elaboración propia).	24
2.10. Superficie de aproximación (Fuente: Elaboración propia).	25
2.11. Superficie cónica (Fuente: Elaboración propia).	25
2.12. Superficies libres de obstáculos (SLO)(Fuente: Elaboración propia).	26
2.13. Superficies limitadoras de obstáculos sobre mapa de terreno mediante <i>ArcScene</i> (Fuente: Elaboración propia).	26
2.14. Superficies limitadoras de obstáculos sobre mapa de terreno mediante <i>ArcScene</i> (Fuente: Elaboración propia).	27
3.1. Primeras celdas solares creadas por Charles Fritts en 1883 (Fuente: Bell - BBVA).	31
3.2. Satélite en órbita equipado con células solares (Fuente: Getty images).	32
3.3. Célula solar (Fuente: MRWATT).	35
3.4. Módulo solar (Fuente: kalkulatomoc).	35
3.5. Array fotovoltaico (Fuente: sunrun).	36
3.6. Partes de un módulo fotovoltaico (Fuente: Youtube).	36
3.7. Programa PVGIS con sus diferentes opciones de cálculo y obtención de datos (Fuente: PVGIS).	37
3.8. Estimación de irradiación solar mensual de 2005 a 2020 (Fuente: PVGIS).	39
3.9. Irradiación global para una inclinación y azimut de 40° y 0° respectivamente, desde 2005 a 2020 (Fuente: PVGIS).	40
3.10. Irradiación media correspondiente a un día de junio entre 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).	43
3.11. Temperatura media correspondiente a un día de junio entre 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).	44
3.12. Irradiación media correspondiente a un día de noviembre entre 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).	45
3.13. Temperatura media correspondiente a un día de noviembre de 2005 a 2020 (Fuente: PVGIS).	45

3.14. Producción mensual de energía del sistema fotovoltaico de ángulo fijo 40° entre los años 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).	47
3.15. Irradiación mensual de energía del sistema fotovoltaico de ángulo fijo 40° entre los años 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).	47
3.16. Valores de producción de energía e irradiación solar del sistema de paneles fotovoltaicos (Fuente: PVGIS).	48
3.17. Producción estimada para un sistema FV autónomo (Fuente: PVGIS).	49
3.18. Rendimiento de la batería para un sistema FV autónomo (Fuente: PVGIS).	50
3.19. Probabilidad del estado de carga de la batería al final del día (Fuente: PVGIS).	50
3.20. Dimensiones y aspecto de la estructura del módulo seleccionado (Fuente: Climasolar).	52
3.21. Inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D (Fuente: Autosolar).	53
3.22. Localización de la planta fotovoltaica del aeródromo (Fuente: Google Maps).	55
3.23. Distancia entre módulos (Fuente: ACADEMIA DE ENERGÍA SOLAR).	56
3.24. Instalaciones eólica en Europa y el mundo (Fuente: Iberdrola).	58
3.25. Primera turbina eólica de Charles F. Brush (Fuente: Danish Wind Industry Association).	59
3.26. Instalación eólica terrestre (Fuente: Repsol).	60
3.27. Instalación eólica marina (Fuente: Repsol).	60
3.28. Partes de un aerogenerador (Fuente: Iberdrola).	61
3.29. Rosas de los vientos de la ubicación de la instalación eólica (Fuente: Enair).	65
3.30. Aerogenerador Enair E200 (Fuente: Enair).	66
3.31. Localización de la instalación eólica del aeródromo (Fuente: Google Maps).	68

Índice de cuadros

2.1. Especificaciones Canadair CL-215T	10
2.2. ReferenciaAeródromo	10
2.3. Categoría OACI-SEI del aeródromo a efectos de salvamento y extinción de incendios [18]	13
2.4. Temperaturas máximas de referencia de cada año	19
2.5. Parámetros necesarios para la corrección de la longitud de pista	20
2.6. Correcciones a la longitud de pista	20
2.7. Distancias declaradas de la pista	21
2.8. Área y superficie de subida en el despegue para clave de referencia 2C	23
2.9. Área y superficie de aproximación para clave de referencia 2C	24
2.10. Cajetín de referencia del plano del aeródromo	28
3.1. Parámetros para obtener datos mensuales de irradiación.	39
3.2. Irradiación media por meses desde 2005 a 2020.	40
3.3. Irradiación media global para una inclinación y azimut de 40° y 0° respectivamente, desde 2005 a 2020.	40
3.4. Diferencia entre la irradiación para una inclinación y azimut de 40° y 0° respectivamente, y la irradiación con inclinación óptima desde 2005 a 2020.	41
3.5. Relación entre la irradiación difusa y la global desde 2005 a 2020.	41
3.6. Temperatura media desde 2005 a 2020.	42
3.7. Parámetros para obtener datos diarios de irradiación.	42
3.8. Irradiación [Wh/m^2] y temperatura de los meses de mayor influencia solar de 2005 a 2020.	43
3.9. Irradiación [Wh/m^2] y temperatura de los meses de menor influencia solar entre 2005 y 2020.	44
3.10. Parámetros para obtener el rendimiento de una instalación solar conectada a la red.	46
3.11. Pérdidas del sistema fotovoltaico.	48
3.12. Parámetros para obtener el rendimiento de una instalación solar sin conexión a la red.	49
3.13. Parámetros obtenidos de la simulación de la herramienta PVGIS para una instalación solar sin conexión a la red.	49
3.14. Datos eléctricos del módulo.	51
3.15. Datos mecánicos del módulo.	51
3.16. Datos técnicos del inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D.	52
3.17. Datos generales del inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D.	52
3.18. Potencia de la instalación según la configuración de módulos.	54
3.19. Parámetros de dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos.	56
3.20. Presupuesto de la instalación solar.	57
3.21. Parámetros para obtener la estimación de producción eólica.	64
3.22. Parámetros obtenidos a partir de la fuente de datos MERRA-2.	64
3.23. Datos de la velocidad de los vientos y producción eólica mediante el aerogenerador Enair 200.	64
3.24. Datos técnicos del aerogenerador Enair 200.	67
3.25. Presupuesto de la instalación eólica.	68
4.1. Presupuesto relacionado con las horas trabajadas.	69

4.2. Presupuesto relacionado con los instrumentos de trabajo utilizados.	69
4.3. Presupuesto relacionado con las licencias necesarias.	69
4.4. Presupuesto total del proyecto.	69

1. Introducción

1.1. Introducción

Las energías renovables son fuentes naturales consideradas inagotables, ya que son capaces de regenerarse por medios naturales, y por la gran cantidad de energía que contienen. Dicho de otra manera, según la directiva europea 2018/2001 del 11 de noviembre del año 2018, define energías renovables a aquellas que no proceden de fuentes fósiles. Entre las diferentes energías renovables existentes (Figura 1.3), se destacan las energía solar y eólica, que son las que se aplicarán en este proyecto.



Figura 1.1: Tipos de energía renovables (Fuente: Pinterest)

Para poder entender el gran interés en las energías renovables en estos últimos años, hay que observar las ventajas y las desventajas de estas [1].

En primer lugar, las ventajas principales son:

- Se obtienen de fuentes naturales y virtualmente son inagotables.
- Tienen un coste nulo del recurso energético en la mayoría de energías renovables.
- Son energía limpia que no necesita elementos químicos para convertirla en calor o electricidad. De esta manera, disminuye los gases de efecto invernadero, evitando producir emisiones de CO_2 u otros gases contaminantes.
- La huella de carbono es baja.
- Disminución de la dependencia energética hacia los países que poseen petróleo, carbón y gas.
- Facilita la llegada de energía a lugares aislados.

- Su implementación supone una prosperidad económica local, debido a la autonomía y sostenibilidad que aporta donde son instaladas.
- Su desarrollo, evolución e instalación genera empleo y nuevas ramas de investigación y negocio, puesto que, aunque las energías renovables sean una realidad actual, aún siguen en constante desarrollo.

En segundo lugar, estas también tienen ciertas desventajas a tener en cuenta, aunque sean menores en comparación con las energías no renovables [2]:

- Es necesaria una inversión inicial, que supone una apuesta económica con rentabilidad a largo plazo.
- Es necesario un gran espacio donde desarrollarlas e instalarlas (según la energía renovable que se desee).
- Genera un gran impacto visual negativo, dependiendo siempre de la cantidad de energía requerida.
- Estas no se pueden aplicar en todos los países o lugares. Esto se debe a los recursos geográficos desiguales en el que no todas las zonas geográficas disponen de los mismos recursos naturales.
- Las energías renovables, aunque ya sea presente y futuro en muchas áreas, siguen en desarrollo continuo, lo que supone un incremento de precio al querer disponer de ellas y la posibilidad de adquirir unas instalaciones que pueden quedar anticuadas por la constante evolución de las mismas.

De esta manera, las energías renovables han tenido un gran auge y evolución en los últimos años, hasta el punto de convertirse en una alternativa realista para generar energía a pesar de seguir en continuo desarrollo, hasta el punto de multiplicar por siete la generación de energía mediante energías renovables en todo el mundo (Figura 1.2). En la actualidad, tienen una gran aplicación en diferentes sectores, tales como la automoción, la aeronáutica, el autoconsumo de energía del hogar, e incluso en nuestro entorno mas cercano, como señales de tráfico con iluminación abastecida mediante la energía solar. Todo esto nos deja entrever que la aplicación de las energías renovables está siendo exponencial y cada vez está recibiendo mayor inversión y apoyo, tanto por las empresas como la sociedad.

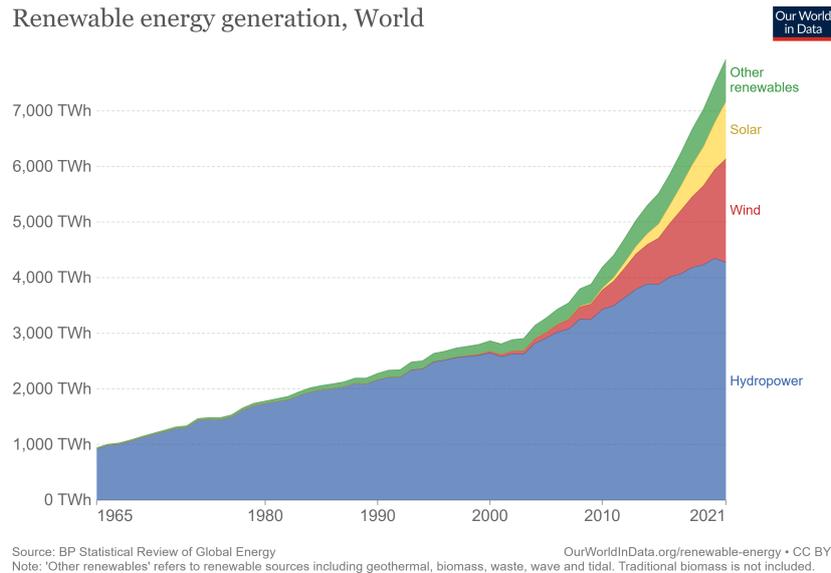


Figura 1.2: Generación de energía renovable en el mundo (Fuente: BP Statistical Review of Global Energy).

En 2022 [3], España ha registrado por primera vez en su historia una generación de electricidad mediante energías renovables, entre las que se destacan la energía solar y eólica, del 39 % según el análisis realizado por expertos en energía Ember. Además, la aplicación de estos dos tipos de energía permitieron reducir en ocho puntos porcentuales la cuota de combustible fósiles. Asimismo, Ember, tras estudiar los datos de generación e importación de energía de 209 países entre 2020 y 2000, e incluir los datos de 2021 de 75 países (los cuáles representan el 93 % de la demanda mundial de electricidad), ha informada de la gran evolución y crecimiento de la energía solar y eólica, sobre todo desde 2015. Esto indica que ambas energías renovables, solar y eólica, son las principales y las que más importancia tienen a nivel mundial. De esta manera, otros países de Europa como Alemania y el Reino Unido, ya son capaces de producir una cierta parte de su electricidad mediante la energía eólica y solar (en 2022), lo cual reduce la dependencia de los combustibles fósiles importados de Rusia y otros países.

Estructura de la generación de febrero de 2022. Fuente: Red Eléctrica de España

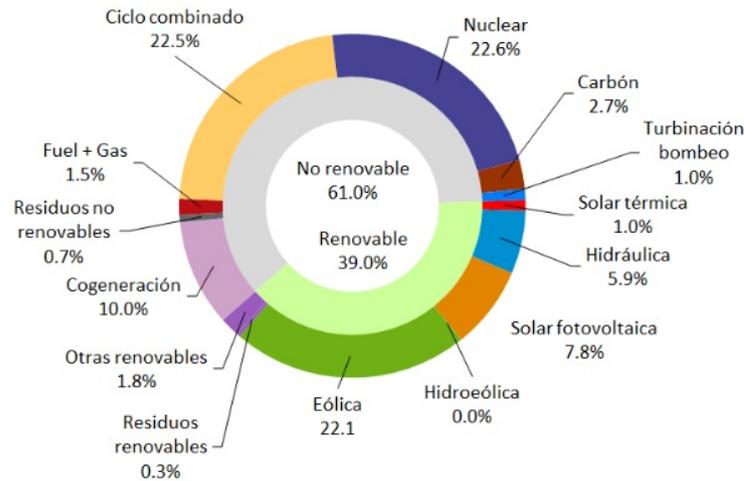


Figura 1.3: Estructura de la generación eléctrica de febrero de 2022 (Fuente: Red Eléctrica de España).

Este gran crecimiento y auge de las energías renovables ha sido notable en los últimos años, y ha provocado que muchas áreas apuesten por invertir en generar electricidad de esta manera, aprovechando las condiciones de los recursos naturales. Una de las áreas de interés de este proyecto es el aeronáutico, y en concreto los aeropuertos y aeródromos, los cuales han sido equipados con energías renovables para generar un alto porcentaje de la energía necesaria o el total, lo cual le da independencia y sostenibilidad energética (ver Apartado 1.3).

Además, este proyecto tiene sentido y cavidad dentro de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), creados en 2015 por las Naciones Unidas en la Cumbre de Desarrollo Sostenible. Tienen como objetivo promover la prosperidad y proteger el medioambiente a través de 17 objetivos, los cuales no son obligatorios pero cada país asume la responsabilidad de trabajar en ellos [4]. El aeródromo que se desea diseñar con sostenibilidad energética mediante energías renovables se ubica en los siguientes objetivos (7,9,12,13 y 15 respectivamente):

- Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- Industria, innovación e infraestructuras.
- Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de la biodiversidad.

Con todo ello, se apuesta por hacer un proyecto con vínculo a las energías renovables y la aeronáutica, basado en el diseño de un prototipo de diseño de un aeródromo de extinción de incendios situado en la comarca de la Marina Alta (Alicante), que sea capaz de poder ser independiente energéticamente.

1.2. Objetivos y alcance del trabajo

De este manera, el objetivo de este trabajo es realizar un estudio sobre la aplicación de las energías renovables, tales como la solar y eólica, y su rentabilidad desde el punto de vista económico y energético. Para ello, se ha diseñado previamente un aeródromo de extinción de fuegos acorde a las directrices marcadas por la OACI en el Anexo 14 [5], el Manual de Planificación de aeropuertos [6], [7] y el Manual de Servicios Aeroportuarios [8]. Así, se consigue un prototipo realista que sirve para realizar el estudio deseado. Finalmente, se realizará un resumen para exponer las conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto, así como el presupuesto necesario para su realización.

Por último, cabe destacar que, se aspira a realizar un diseño y estudio lo más realista posible, con alcance medioambiental e innovador que pueda ser aplicado en aeropuertos de mayor escala como regionales o internacionales, de manera efectiva y rentabilidad. Asimismo, impulsar las energías renovables con el objetivo de paliar y frenar las consecuencias del cambio climático en nuestras vidas.

1.3. Estado del arte

Como se ha comentado hasta ahora, las energías renovables son una alternativa realista y fundamentada que ya está teniendo una gran aplicación en diversas áreas, incluyendo la aeronáutica. La mayor iniciativa y conciencia del mundo por frenar las consecuencias del cambio climático han provocado este gran auge de las energías tales como la solar y eólica entre otras. Según las estadísticas [9], el consumo mundial de energías fósiles (petróleo, carbón y gas natural) engloba un 80% del total producido, lo cual preocupa por lo que supone a niveles de impacto medioambiental, además de ser recursos limitados. Por ello, en las últimas décadas, se han buscado alternativas tales como las energías renovables que suponen una medida de ahorro y eficiencia energética.

De esta manera, acorde al trabajo presente, hay muchos proyectos tanto futuros como actuales de aeropuertos que pretenden ser independientes energéticamente de manera total o parcial. A continuación, se muestran algunos ejemplos de aeropuertos que han apostado por las energías renovables [9]:

Alemania

A pesar de no tener los mismos recursos naturales que España en cuanto a irradiación ($2.970 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ de media anual frente a $4.820 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$), Alemania ha apostado por la energía solar como energía renovable.

- **Aeropuerto Internacional de Düsseldorf:** cuenta con 8400 paneles fotovoltaicos, lo que genera 2 MW de potencia total instalada.
- **Aeropuerto Internacional de Múnich-Franz Josef Strauss:** en el Terminal 2 de este aeropuerto, se ha optado por utilizar paneles para generar 445000 KWh.

Suiza

Otro país europeo que ha apostado por aplicar esta alternativa es Suiza, y en concreto el aeropuerto más grande y con mayor volumen de pasajeros de todo el país.

- **Aeropuerto de Zúrich:** se han instalado alrededor de 5000 paneles solares, lo que supone una generación de electricidad de 270000 KWh al año.

Emiratos Árabes Unidos

Siendo uno de los lugares que más tráfico de pasajeros y conexión de vuelos tiene, también están apostando e invirtiendo en el sector renovable aprovechando el gran potencial solar del que disponen.

- **Aeropuerto Internacional de Abu Dabi:** posee el aparcamiento solar más grande del país, capaz de generar 3 megavatios . Esto supone 7542 paneles solares que producen electricidad para alimentar el estacionamiento de coches y otras secciones del aeropuerto

Estados Unidos

Estados Unidos posee unos de los mayores parques solares más grandes, lo que confirma, junto al resto de países, la gran inversión y apuesta que se lleva haciendo en los últimos años en busca de alternativas.

- **Aeropuerto Internacional de Denver:** en este aeropuerto se encuentra el parque solar comentado anteriormente, el cual dispone de una potencia de 8 MW y genera 7000 MWh anualmente, lo que supone el 6 % de la demanda eléctrica del aeródromo.

India

La India está siendo considerada país emergente, líder en desarrollo y con gran potencial y proyección en el futuro. Tal es así, que han sorprendido y apostado por las energías renovables de manera notoria [10].

- **Aeropuerto internacional de Cochin:** es el primer aeropuerto del mundo que funciona totalmente con energía solar por medio de sus 48154 paneles solares que producen 12 megavatios diarios de energía aproximadamente.

Holanda

Cuatro aeropuertos holandeses funcionarán exclusivamente con energías renovables gracias al acuerdo al que ha llegado el grupo Schiphol -que engloba los aeródromos de Ámsterdam, Eindhoven, Rotterdam y Lelystad- con la compañía energética Eneco [11].

- **Aeropuerto de Schiphol (Amsterdam):** funciona completamente con la electricidad generada por el viento. Además, la terminal trabaja para aumentar la eficiencia energética de sus instalaciones, con el uso de iluminación LED, el almacenamiento de calor y frío [12].

España

España, debido a los grandes recursos naturales que posee, ha apostado por hacer sostenible energéticamente algunos aeropuertos, tanto con energía solar como eólica. Algunos ejemplos son:

- **Aeropuerto de La Palma:** esta considerado como pionero en el uso de aerogeneradores a modo de energía eólica como fuente de energía primaria.
- **Aeropuerto de Palma de Mallorca:** tiene instalados paneles solares térmicos ubicados en

la terraza del aeropuerto, cuya energía suministra el agua caliente sanitaria a este edificio durante el verano, mientras que en invierno se incorpora al anillo de calor que proporciona la calefacción de la terminal.

- **Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas y Bilbao:** ambos aeropuertos poseen de plantas de cogeneración que aprovechan el calor de los gases de escape de los motogeneradores de energía eléctrica y el frío de su refrigeración de baja temperatura, para alimentar el sistema de calefacción y el de aire acondicionado. Adicionalmente, los motores tienen acoplados generadores eléctricos que producen la electricidad para el área terminal [13].

Como se aprecia en la Figura 1.4, hay otros aeropuertos españoles que poseen energías renovables o que tienen intención de aplicarlas en sus instalaciones.

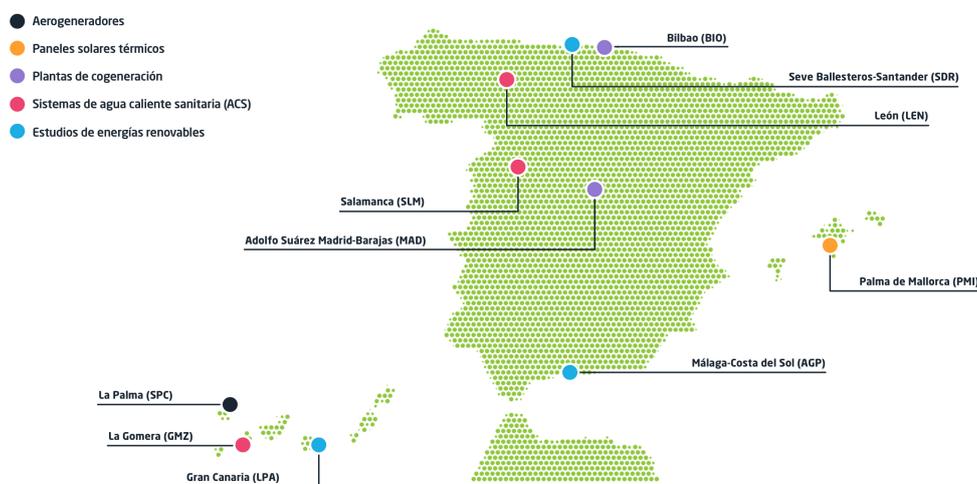


Figura 1.4: Aeropuertos españoles con presencia o interés en energías renovables (Fuente: Aena).

1.4. Justificación y motivación

La realización del presente proyecto parte de dos motivos principales: uno de carácter académico, como última actividad académica antes de finalizar los estudios del Máster en Ingeniería Aeronáutica, y otro de carácter más específico e interesante a nivel personal como son las energías renovables, las cuales me generan interés y curiosidad por la gran aplicación y proyección futura en cualquier ámbito y área .

Es importante resaltar que mi interés particular por realizar dicho proyecto parte de la preocupante actual situación de cambio climático y medioambiental. Es por este motivo, por el que mi trabajo final de máster se dirige a un tema actual que tiene relación directa con la ingeniería.

Como se ha comentado anteriormente, las energías renovables son una apuesta de futuro en muchas áreas en la actualidad, aunque ya están siendo una realidad que necesita una gran inversión. Asimismo, la guerra, la escasez de combustibles fósiles y los problemas ambientales, han acentuado el interés en invertir en energías renovables tales como la hidráulica, eólica, solar,

geotérmica, mareomotriz y de la biomasa. Todas ellas son alternativas que pueden paliar las situaciones críticas que están sufriendo el planeta, la economía y salud de la población mundial.

2. Diseño de aeródromo de extinción de incendios

2.1. Generalidades

2.1.1. Aeronave tipo y clave de referencia

En primer lugar, para el diseño del aeródromo tipo, se elige que tipo de aeronaves van a interactuar con este. Puesto que la principal función del aeródromo es actuar ante posibles incendios de la zona, la aeronaves que son específicas para extinción de incendios son [14]:

- **Aviones anfibios de gran capacidad:** se caracterizan por poder operar en tierra y agua, con capacidad de actuar rápido y cargar hasta 6 toneladas de agua.
- **Aviones anfibios de baja capacidad:** son aviones con gran maniobrabilidad y efectivo contra incendios, aunque tarda cerca tres minutos aproximadamente en cargar 3000 litros.
- **Aviones anfibios de capacidad media:** son aviones mixtos de carga tierra-anfibio, equipados de dos flotadores que cargan 3100 litros en 30 segundos.
- **Helicópteros de transporte de brigadas:** son helicópteros de tamaño medio ideales para el transporte de brigadas y su apoyo mediante las descargas de agua.
- **Helicópteros bombarderos KAMOV:**son helicópteros bombarderos con capacidad de 4.500 litros, y valorado por su capacidad de descarga, maniobrabilidad y potencia.

De todos los anteriores, se escoge como avión de referencia para dimensionar la pista del aeródromo el avión anfibio de gran capacidad Canadair CL-215T, . Se trata de un avión diseñado específicamente para cortar fuegos y que ha sido fabricado por la compañía Canadair en 1988 como mejora de su predecesor, el CL-215. Actualmente opera en gran variedad de países, llevando a cabo tanto labores de extinción de incendios como de vigilancia y control aduanero. En España este modelo operado por el Ejército del Aire.



Figura 2.1: Canadair CL-215T (Fuente: Flickr).

Algunas de las principales características y especificaciones de la aeronave se recogen en la Tabla 2.1, y son de gran utilidad para el diseño del aeródromo acorde a la clave de referencia.

MTOW (kg)	19800
Envergadura (m)	28.60
Longitud (m)	19.80
Ancho tren de aterrizaje (m)	5.40
Despegue de despegue (m)	670
Despegue de aterrizaje (m)	840
Capacidad (agua + retardante ignífugo) (l)	5300 + 600

Tabla 2.1: Especificaciones Canadair CL-215T

En cuanto a la clave de referencia del aeródromo, tiene como finalidad facilitar la identificación de las características de la pista y se utiliza como medio para un primer dimensionamiento de la misma. En base a los criterios que se muestran en la Tabla 2.2, la selección de la clave de referencia se hace en función de la longitud de campo de referencia, la envergadura y la anchura del tren de aterrizaje del avión seleccionado.

Elemento 1 de la clave		Elemento 2 de la clave		
Núm. de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4.5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1200m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4.5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1200 m hasta 1800m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

Tabla 2.2: Clave de referencia del aeródromo. Manual de diseño de Aeródromos-Pistas [6]

De acuerdo con las especificaciones del CL-215T recogidas en la Tabla 2.1, la clave del aeródromo es 2C.

2.2. Determinación de la edificación y equipos aeroportuarios

Para este apartado, se opta por busca como ejemplo un aeródromo de dimensiones reducidas de la Comunidad Valenciana, destinado a aviación general o ligera que conste de instalaciones suficientes para desempeñar las labores de extinción de incendios (pudiendo prescindir de la utilización torre de control o radioayudas innecesarias) y crear así el un prototipo de aeródromo referencia y real en el ámbito de la extinción de incendios en la comarca de la Marina Alta y alrededores. Las instalaciones de referencia elegidas han sido las del aeródromo de Requena

(LERE), puesto que dentro de la comunidad es el que más se puede adecuar a los criterios elegidos, siendo una de sus labores la operación con aeronaves de extinción de incendios. Asimismo, resulta buena opción puesto que se dispone de las especificaciones y cartas de navegación en la página de ENAIRE [15].

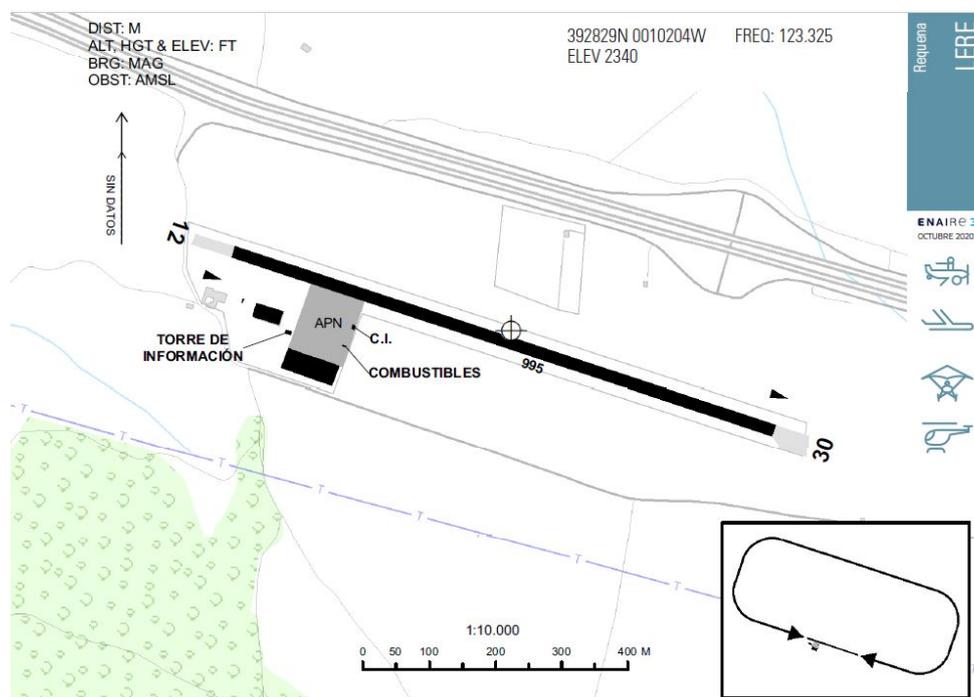


Figura 2.2: Plano del aeródromo de Requena (LERE) (Fuente: ENAIRE).

El aeródromo de Requena es privado y destinado a Aviación General y ultraligeros, con diversas funciones entre las que se encuentran la instrucción de pilotos, el mantenimiento aeronáutico, los vuelos recreativos y deportivos e incluso servicios de vigilancia y extinción de incendios [16].

Presenta una pista con una longitud de pista total y anchura de 995 y 18 metros respectivamente, siendo su altitud de 710 m y su orientación 12/30. Además, la operación es visual (VFR-HJ) y no precisa de torre de control. En cuanto a los edificios, presenta una estación de repostaje de combustible y tres hangares para la reparación de aeronaves ultraligeras y de aviación general, junto a una plataforma de estacionamiento con capacidad para 20 aviones de estas características.

A continuación, se presenta las edificaciones y equipos aeroportuarios del prototipo de aeródromo de extinción de incendios diseñado.

2.2.1. Terminal

El aeródromo planteado será de carácter privado, destinado principalmente a labores de extinción de incendios y emergencias. Por este motivo, no será necesaria una terminal de pasajeros.

2.2.2. Plataforma de estacionamiento de aeronaves

El diseño del aeródromo constará de una plataforma de estacionamiento de aeronaves con espacio para 10 aeronaves de clave 2C, aunque también podrán hacer uso aeronaves que no superen la categoría C, incluyendo aviación general y ultraligeros.

En base a los criterios establecidos en la Parte 2 del Manual de diseño de Aeródromos [7], las medidas de cada una de las plazas serán de 30x22m, guardando además una distancia de 4.5 metros entre cada una de ellas.

2.2.3. Servicio de extinción de incendios (SEI)

El servicio de extinción de incendios (SEI) es un servicio obligatorio para la gran mayoría de los aeródromos con el fin de prevenir y actuar únicamente frente a accidentes que ocurran en el propio aeródromo o en sus inmediaciones. No obstante, puesto que este aeródromo tiene un objetivo específico, se precisará de instalaciones tanto para la actuación en toda la comarca como en el propio aeródromo.

Edificio de prevención y monitorización de incendios

La utilidad de este edificio es el de proveer a la Marina Alta y sus alrededores de un servicio de extinción de incendios referente en la Comunidad Valenciana. Este cubriría los valles y zonas boscosas, como las presentes en el Parque Natural del Montgó o el Margal de Pego-Oliva, por lo que precisará de grandes depósitos de agua y de material químico ignífugo.

Asimismo, será necesario contratar personal encargado de prevenir y monitorizar posibles incendios, además de pilotos destinados a este fin. Junto a él se encontrarán 2 depósitos de agua de 22.5 m³ cada uno y un depósito de retardante químico TBBPA [17] de 6 m³, capaces de llenar al completo hasta 10 aeronaves tipo para la lucha contra el fuego.

Instalaciones internas del SEI

Para proporcionar mayor seguridad al aeródromo y efectividad al actuar frente los incendios, se precisa de instalaciones en tierra situadas contiguo al edificio de prevención y monitorización, y se ajustará a los criterios definidos por AESA.

La categoría del SEI viene determinada en base a las dimensiones de la aeronave de referencia. Los criterios establecidos por AESA en su documento *INSTRUCCIÓN TÉCNICA: SERVICIO DE SALVAMENTO Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS* [18] se reflejan en la Tabla 2.3.

Categoría OACI-SEI del aeródromo	Longitud total del avión	Anchura máxima del fuselaje
1	de 0 a 9 m exclusive	2 m
2	de 9 a 12 m exclusive	2 m
3	de 12 a 18 m exclusive	3 m
4	de 18 a 24 m exclusive	4 m
5	de 24 a 28 m exclusive	4 m
6	de 28 a 39 m exclusive	5 m
7	de 39 a 49 m exclusive	5 m
8	de 49 a 61 m exclusive	7 m
9	de 61 a 76 m exclusive	7 m
10	de 76 a 90 m exclusive	8 m

Tabla 2.3: Categoría OACI-SEI del aeródromo a efectos de salvamento y extinción de incendios [18]

Puesto que la longitud del Canadair CL-215T es 19.8 m , el servicio interno implantado en el aeródromo será OACI-SEI 4. Además, el aeródromo dispondrá de un camión de bomberos y depósitos de agua propios del servicio de monitorización y prevención de incendios.

2.2.4. Hangares

Junto a la plataforma de estacionamiento se situará un único hangar de dimensiones 45x45x10 m, para realizar el mantenimiento de los propios aviones de extinción de incendios y preservar alguna aeronave en el caso de que fuese necesario. Solo es necesario de un hangar puesto que no ofrecerá servicios de mantenimiento a aeronaves privadas externas, como sí lo hace el Aeródromo de Requena.

2.2.5. Estación de suministro de combustible y lubricante

De manera análoga al aeródromo de Requena [16], se incorpora una pequeña estación de suministro de combustible de tipo AVGas100 y JETA1 y lubricante Aeroshell Fluid 31 para la flota de aeronaves de extinción. Estará situada junto a la plataforma y los hangares para poder acceder fácilmente a las aeronaves estacionadas.

2.2.6. Torre de Control (TWR)

Debido al bajo volumen de tráfico esperable, la operación visual diurna y la buena visibilidad de las aeronaves y la categoría del aeródromo, no será necesaria la construcción de una torre de control que monitorice el tráfico. El tráfico será controlado por un radio operador que coordine los despegues y aterrizajes de las aeronaves.

2.2.7. Radioayudas a la navegación

Como se ha comentado en el apartado anterior, la operación del aeródromo será visual diurna (VFR-HJ), por lo que no será necesaria la instalación de radioayudas. Únicamente se contempla la instalación de un VOR-DME para navegar en condiciones de baja visibilidad o en vuelo nocturno, aunque en un primer momento se deja para posibles ampliaciones del plan director.

2.2.8. Centro de emisores

Con el objetivo de informar sobre el tránsito conocido en el circuito de aeródromo y en las inmediaciones de éste, viento, información meteorológica, pista y circuito de aeródromo en uso, y cualquier otra información relevante, se hace uso de un centro de emisiones a través de una frecuencia FM de radio. El personal encargado de ello será parte de la estación meteorológica implantada en el aeródromo.

2.2.9. Estación meteorológica

Debido a la necesidad de asegurar eficacia y efectividad de la actuación de las aeronaves del aeródromo, se aporta información meteorológica de la comarca de la Marina Alta mediante una estación meteorológica con los instrumentos indispensables para asegurar una buena operatividad de las aeronaves en caso de incendios: anemómetros sónicos, pluviómetros y un radar meteorológico Doppler.

Asimismo, se precisará de personal encargado de coordinar la información con la recibida desde otras estaciones meteo y trabajar conjuntamente con el personal de extinción de incendios para prevenir y monitorizar posibles casos, así como coordinar la operativa de extinción en función de la meteorología.

2.2.10. Suministro de energía eléctrica

Puesto que el aeródromo de extinción de incendios diseñado operará en vuelo visual diurno (VFR-HJ), no será necesario un gran suministro eléctrico enfocado a la navegación. Sin embargo será fundamental la implantación de fuentes primarias de energía para el suministro eléctrico a los edificios de monitorización y extinción de incendios, meteorología y control por radio. Mediante fuentes de energía renovables tales como el sol y el viento, se lograría el suministro de energía eléctrica siendo una idea innovadora a la vez que favorable con el medio ambiente.

No obstante, es necesario instalar un grupo motor electrógeno para evitar problemas de suministro o fallos no esperados. Por ello, se escoge el grupo motor electrógeno Baudouin con potencia standby de 137 kVA-109 kW y con potencia continua de 125 kVA-100 kW, con voltaje de 400 V y una frecuencia de 50 Hz. Este no tiene limitación a las horas anuales de funcionamiento y puede suministrar un 10 % de sobrecarga de energía durante 1 hora en 12 horas [19].



Figura 2.3: Grupo motor electrógeno Baudoin de potencia 137 kVA (Fuente: Agresa).

2.2.11. Estación depuradora de aguas residuales (EDAR)

Debido al pequeño tamaño del aeródromo no se precisa de una estación de aguas residuales propia. Se podría hacer uso de alguna de las EDAR de la comarca, como la de Gata de Gorgos, Lliber o Benissa.

2.3. Selección del emplazamiento y justificación

2.3.1. Estudio de la orografía

Con el fin de ubicar el aeródromo en una localización que se ajuste a un emplazamiento real se han realizado una serie de restricciones sobre el terreno de la comarca de la Marina Alta. Mediante el uso del software ArcMap de ArcGIS [20] han descartado: zonas de suelo no urbanizable y núcleos urbanos; carreteras; zonas de riesgo de inundaciones y deslizamientos y zonas con alta vulnerabilidad de acuíferos; zonas de protección de aves (ZEPA), zonas especiales de conservación (ZEC) y lugares de Importancia Comunitaria (LIC); parajes y reservas naturales; y terreno con inclinación superior al 5 %.

Entonces, el terreno disponible para emplazar el aeródromo es el mostrado en la Figura 2.4.

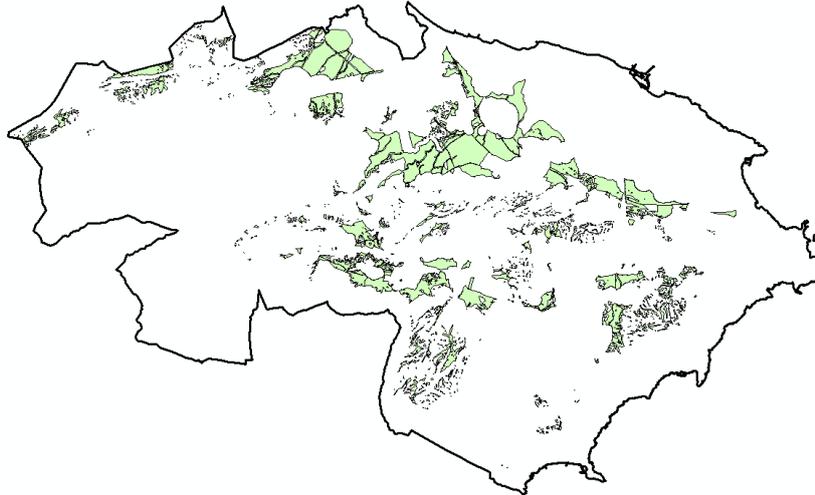


Figura 2.4: Terreno disponible de la Marina Alta tras imponer restricciones (Fuente: Elaboración propia).

Tras cumplir con las restricciones impuestas, se procede a estudiar los criterios más beneficiosos y necesarios a la hora de realizar el emplazamiento de un aeródromo de extinción de incendios. Primeramente, se busca proximidad a parajes, parques naturales, zonas boscosas y zonas declaradas en riesgo de incendio. Otro criterio esencial es la cercanía a masas de agua que permitan facilitar el trabajo de extinción sin necesidad de retornar al aeródromo a recargar el depósito de la aeronave. En tercer lugar se ha analizado la meteorología de la zona y se ha realizado un estudio de vientos de la zona para asegurar la viabilidad del emplazamiento. Por último, se valora el acceso por carretera como factor limitante de localización del aeródromo.

2.3.2. Proximidad a parajes naturales y bosques

Como factor fundamental a la hora de seleccionar el emplazamiento del aeródromo se ha analizado la ubicación de los principales bosques y parajes naturales de la comarca de la marina alta y alrededores, ya que el control y protección de estos frente a incendios será la función principal. Entre ellos, se encuentran algunos de gran extensión como el Parque Natural de la Marjal de Pego-Oliva o el Parque Natural del Montgó. Asimismo, haciendo uso del software ArcMap se han incluido en el estudio zonas consideradas de elevado riesgo de incendios, correspondientes a extensiones boscosas que han sufrido de incendios o se prevé que puedan hacerlo. La Figura 2.5 muestra el terreno disponible mostrado en la Figura 2.4 junto con las zonas comentadas y la ubicación final de la pista. Se incluyen también las masas de agua de las que se dispone en la comarca.

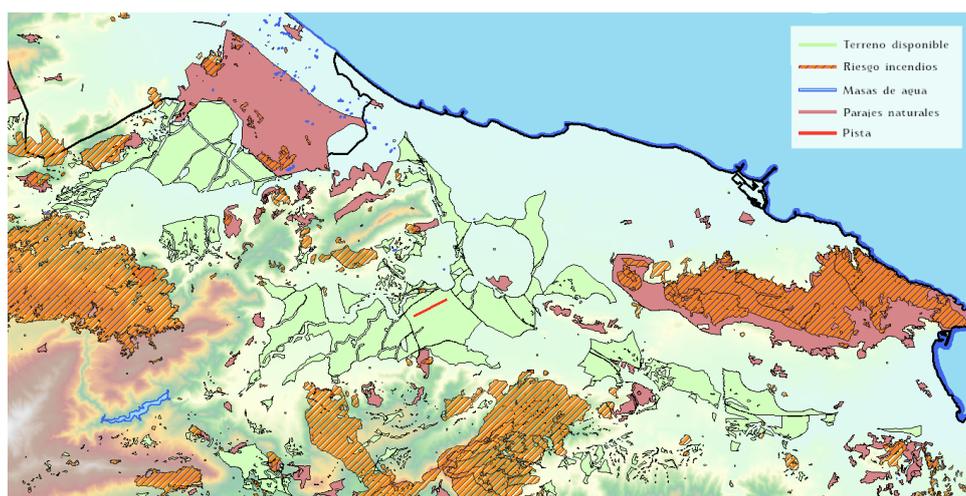


Figura 2.5: Zonas a considerar y ubicación final de la pista (Fuente: Elaboración propia).

Como se puede observar, el emplazamiento seleccionado se encuentra en el medio de todas las zonas que podrían procurar de servicio antiincendios. Además, la pista dispondrá de espacio suficiente, puesto que se ha incluido considerando una longitud de 1200 m, que será la longitud máxima posible en base a la clave de referencia del aeródromo. Asimismo, la orientación que se muestra es la orientación final que tendrá la pista, la cual se expondrá a continuación.

2.3.3. Proximidad al mar y otras masas de agua

En la Figura 2.5 se muestran también las masas de agua de las que las aeronaves antiincendios podrán hacer uso durante su operativa en la comarca y alrededores. Esto es esencial para asegurar efectividad en la actuación de los aviones antiincendios. De esta manera, la ubicación del aeródromo se encuentra aproximadamente a 7 km del mar mediterráneo, por lo que se consideraría la fuente de preferencia externa al aeródromo. Como alternativa, se podría recoger agua en el Embalse de Beniarrés (Alicante) e incluso convertirse en opción principal ante incendios en el sudoeste de la comarca.

2.3.4. Climatología y estudio de vientos de la zona

Este apartado tiene una gran importancia para el desarrollo y estudio del proyecto de las energías renovables. Mediante el estudio de la climatología y los vientos, se analizará la aplicación de las energías renovables, tanto solar como eólico, para aportar sostenibilidad energética al aeródromo.

Para el estudio de la climatología de la zona se ha dispuesto de información de las estaciones meteorológicas de Pego y Denia. Dada la mayor cercanía a Pego, se ha hecho uso de la información meteorológica de dicha estación, consistente en la recopilación de 24 valores de temperaturas y vientos diarios entre los años 2009 y 2012, ambos inclusive.

Estudio de vientos. Orientación de la pista

En base a los criterios y recomendaciones marcadas por capítulo 3 del Anexo 14 de la OACI [5], la elección de los datos que se han de usar en el cálculo del coeficiente de utilización deberían

basarse en estadísticas confiables de la distribución de vientos de la zona, recogiendo al menos 8 valores diarios durante un periodo de al menos 5 años. En el caso de pego solo se dispone de medidas recogidas a lo largo de 4 años, pero considerando la mayor frecuencia de las medidas se pueden considerar aceptable. Siguiendo la recomendación 3.1.3 del anexo, el tratamiento de los datos tiene que ofrecer una orientación de pista que asegure una componente transversal máxima de viento de 19 km/h para un avión cuya longitud de referencia sea menor a 1200 metros, que es el caso de la aeronave de referencia elegida.

Para el tratamiento de los valores medios del viento se ha optado por el método de la rosa de los vientos. Se ha realizado una distribución angular en un total de 16 intervalos de 22.5 grados, en los que se han agrupado los vientos en función de una segunda variable: su intensidad. Esto resulta en una distribución tabulada en base a intervalos de ambas variables que arroja información acerca de las orientaciones más favorables para la operatividad del aeropuerto mediante el cálculo de un coeficiente de utilización de la pista. En el caso del CL-215T, se buscará una orientación que arroje un coeficiente de utilización calculado para campo de referencia menor a 1200 m que sea superior al 95 %.

La Figura 2.6 muestra la rosa de los vientos obtenida tras realizar el tratamiento de los datos obtenidos en la estación de Pego. Se aprecia la predominancia de vientos en las orientaciones NE-SW y ENE-WSW, obteniéndose el mayor coeficiente de utilización (campo ref.>1200m) para la segunda de ellas: 99.9958 %. Por tanto, la orientación elegida para la pista del Aeródromo de Beniarbeig es ENE-WSW, lo que equivale a una designación 02/20.

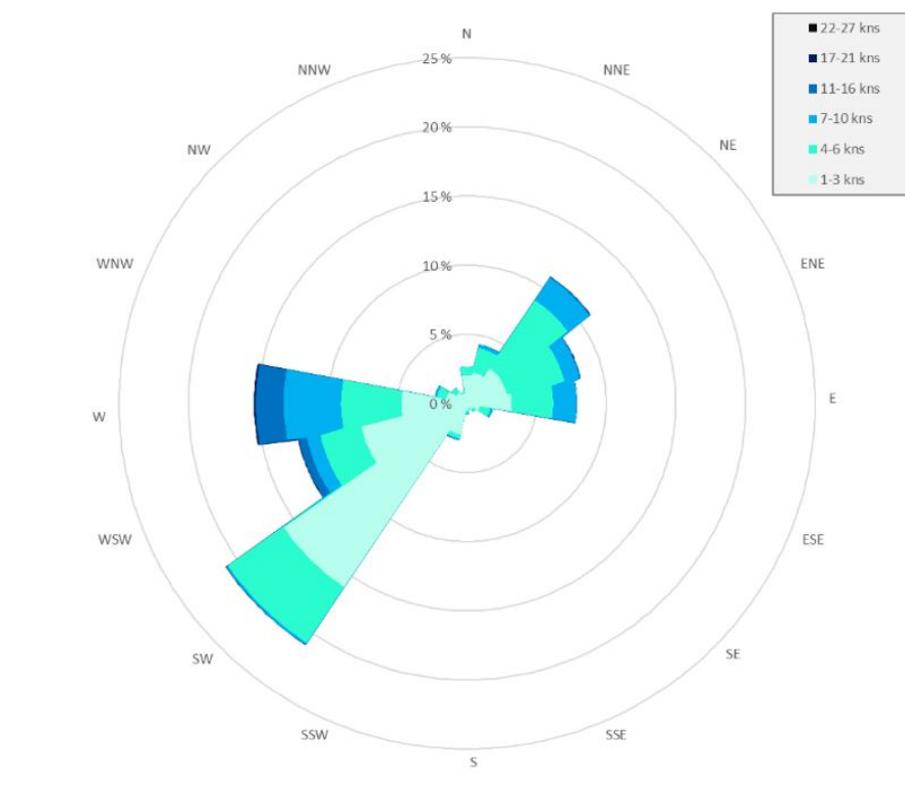


Figura 2.6: Rosa de los vientos obtenida (Fuente: Elaboración propia).

Temperatura máxima de referencia

La recomendación 2.4.2 del anexo 14 de la OACI define la temperatura de referencia del aeródromo como la “media mensual de las temperaturas máximas diarias correspondiente al mes más

caluroso del año (siendo el mes más caluroso aquél que tiene la temperatura media mensual más alta). Esta temperatura debería ser el promedio de observaciones efectuadas durante varios”.

En base a la recomendación del Anexo 14 se han obtenido las temperaturas de los 4 años de los que se dispone de datos y se han promediado para obtener la temperatura de referencia del aeródromo (Tabla K). El valor final obtenido es de 33.32 grados Celsius.

Año	Tª (°C)
2009	33.48
2010	33.08
2011	32.94
2012	33.79
Tª Ref	33.32

Tabla 2.4: Temperaturas máximas de referencia de cada año

2.3.5. Vías de comunicación. Accesibilidad

El aeródromo no tendría ningún problema de accesibilidad por tierra, puesto que la zona está bien conectada. La carretera autonómica CV-731 pasa por las inmediaciones del emplazamiento, conectando el aeródromo con los pueblos cercanos y teniendo acceso directo a la AP-7 que se encuentra a únicamente 2 km.



Figura 2.7: Vista aérea de la red de carreteras y localidades cercanas (Fuente: Elaboración propia).

2.3.6. Correcciones de altitud y temperatura

Para obtener la longitud de pista final del aeródromo se parte de las distancias de aterrizaje y despegue del avión de referencia en una atmósfera tipo, así como de los datos de temperatura, elevación y pendiente de la pista del aeródromo (Tabla 2.5).

Long pista atmósfera tipo aterrizaje (m)	813.32
Long pista atmósfera tipo despegue (m)	675.11
Elevación del aeródromo (m)	50.28
Temperatura de referencia (°C)	33.32
Temperatura a 150 m (°C)	14.17
Pendiente de pista (%)	91.66

Tabla 2.5: Parámetros necesarios para la corrección de la longitud de pista

La corrección de la longitud de pista se hace en base a los criterios definidos en el capítulo 3 del Manual de Diseño de Aeródromos – Pistas [6]. Este impone (1) un aumento del 7 % por cada 300m de elevación, (2) un 1 % por cada grado que la T^a de referencia del aeródromo supere a la de la atmósfera tipo y (3) un 10 % por cada 1 % de pendiente de la pista para pistas de longitud superior a 900m. Las correcciones realizadas sobre la longitud de despegue se exponen en la Tabla 2.6.

Corrección longitud despegue por elevación (m)	822.86
Corrección longitud despegue por elevación y T^a (m)	980.42
Longitud efectiva de la pista (m)	980.42
Anchura efectiva de la pista (m)	30

Tabla 2.6: Correcciones a la longitud de pista

Una vez aplicadas las correcciones, la longitud de pista efectiva obtenida es de 980.42 m. Se puede concluir que las dimensiones finales de la pista serán de 980.42x30 m.

2.4. Subsistemas de movimientos de aeronaves

A continuación, se expone los subsistemas de movimiento de aeronaves de acuerdo con el Manual de Diseño de Aeródromos. Asimismo, se muestra un esquema realizado con el software de diseño *AutoCad* de las dimensiones de la pista y las distancias declaradas de esta.

2.4.1. Pista

Puesto que el diseño de la pista está enfocado para el movimiento de aeronaves de extinción de incendios (clave de referencia 2C), el dimensionado se ha realizado acorde a las correcciones del apartado 2.3.6 y en función de los requisitos de la longitud de referencia del avión y orografía. Así, se diseña una única pista de longitud de 980.42 metros, ancho 30 metros y pendiente del 1.15 %.

En cuanto a las áreas de seguridad, se ha decidido implementar las zonas de clearway, stopway y RESA para asegurar las fases de despegue y aterrizaje y posibles inconvenientes durante el movimiento de las aeronaves. De esta manera, se desarrolla de más extensa cada una de las zonas comentadas.

Clearway (CWY)

La zona clearway es un área más allá de la pista pavimentada, libre de obstáculos y bajo el control de las autoridades aeroportuarias, que facilita el despegue de pista. La longitud de esta puede ser incluida en la longitud de la distancia de despegue disponible (TODA).

En cuanto a las dimensiones, la longitud no puede superar la longitud de la pista con el umbral desplazado (TORA) y su anchura debe ser 75 metros a cada lado del eje de pista. Adicionalmente, cumpliendo con las tablas del manual, esta zona ha de tener una pendiente de 1.25 %.

Stopway (SWY)

La zona stopway es el área de parada en la que se puede desacelerar en caso de un despegue interrumpido. Esta zona se caracteriza tener el mismo ancho que la pista, una longitud de 50 metros y una pendiente longitudinal y transversal de 2 % y 1.5 % respectivamente . Además, de este concepto surge la distancia de parada acelerada disponible (ASDA) que es la suma de la longitud de la pista y el stopway.

En la siguiente tabla resumen, se muestran los valores de las dimensiones correspondientes de las zonas y definiciones desarrolladas hasta el momento.

CWY	120 m
SWY	50 m
TORA	980.42 m
TODA (TORA + CWY)	1100.42 m
ASDA (TORA + SWY)	1030.42 m

Tabla 2.7: Distancias declaradas de la pista

Runway End Safety Area (RESA)

En primer lugar, se define la franja de pista que es la zona que se ubica a 75 metros a cada lado del eje de pista y a 60 metros de la parte delantera y trasera de la pista.

Entonces, la RESA es una zona simétrica respecto a la línea central de la pista extendida y adyacente al final de la franja, destinada principalmente a reducir el riesgo de que un avión sufra daños por rebasar la pista. Entonces, se puede establecer que el objetivo principal es limitar las consecuencias cuando los aviones sobrepasan el final de una pista durante un aterrizaje o un despegue rechazado, o cuando sobrepasan la pista de aterrizaje prevista.

Como se ha comentado en repetidas ocasiones, se cumple con los requisitos de una clave de referencia 2C, y se establece un ancho de la zona igual a la correspondiente a la franja y una longitud de 120 metros a partir de esta.

2.4.2. Calles de rodaje y plataforma de viraje

Adicionalmente, se ha diseñado una calle de rodaje y una plataforma de viraje, tomando como ejemplo el aeropuerto de Requena, para añadir comodidad de movimiento a las aeronaves. En

primer lugar, la calle de rodaje tiene como objetivo conectar las zonas de hangares y terminal con la pista de aterrizaje. De acuerdo con el Manual, se cumple con una calle de rodaje de 15 metros de ancho, garantizando 3 metros de separación por cada lado del tren de aterrizaje. En segundo lugar, la plataforma de viraje permite realizar giros y movimientos con mayor facilidad.

2.4.3. Diseño y dimensiones de la pista y áreas de seguridad

Finalmente, se muestra un esquema representativo del diseño y dimensionado de la pista y las zonas de seguridad mediante *AutoCad*.

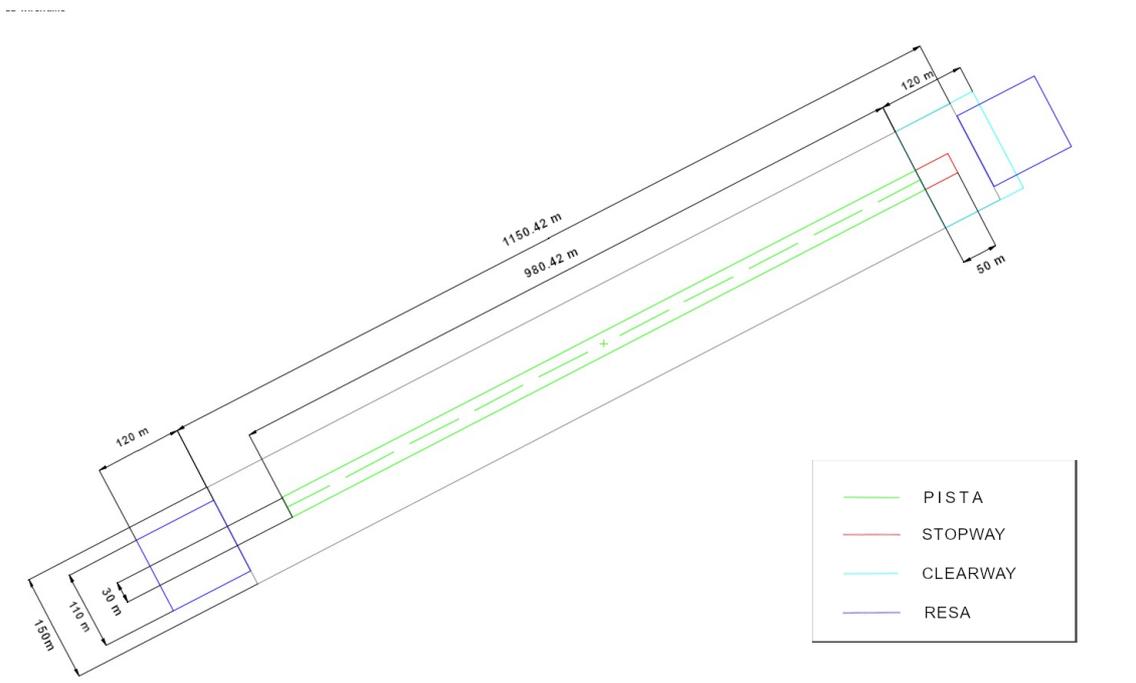


Figura 2.8: Cotitas de la pista y zonas de seguridad (Fuente: Elaboración propia).

2.5. Servidumbres

Para garantizar la seguridad y continuidad de las aeronaves que operan en los aeropuertos y aeródromos, es necesario imponer una serie de restricciones a las edificaciones y entorno ubicadas alrededor de los mismos que puedan afectar en el aterrizaje o despegue. Por ello, se definen una serie de superficies alrededor del aeródromo denominadas superficies limitadoras de obstáculos (SLO).

2.5.1. Superficies limitadoras de obstáculos

Según el Real Decreto 584/1972 [21] y en base al Manual de servicios de aeropuertos [8] se pueden definir las superficies limitadoras de obstáculos necesarias para identificar el espacio aéreo alrededor del aeródromo que debe mantenerse libre de obstáculos para que las operaciones de aeronaves puedan realizarse de manera segura y evitar que el aeropuerto quede inutilizado por la multitud de obstáculos circundantes.

Para el aeródromo de extinción de incendios y para una clave de referencia 2C, se utiliza las siguientes SLO:

- **Área y superficie de subida en el despegue.** El área de subida en el despegue es la parte especificada del terreno o extensión de agua más allá del extremo de la pista o de la zona libre de obstáculos en el sentido de despegue. La superficie de subida de despegue es el plano inclinado u otra superficie especificada, limitado en planta por la proyección vertical del área de subida en el despegue.

Estas se definen a partir de los datos de la tabla 2.8:

Clave de referencia para las características	Pista clave C
Distancia del borde interior al extremo de la pista (si no existe zona libre de obstáculos)	60 m
Longitud del borde interior - Pistas principales de despegue	180 m
Longitud del borde interior - Otras pistas	180 m (150 m)
Divergencias a cada lado - Pistas principales de despegue	12,5 %
Divergencias a cada lado - Otras pistas	12,5 % (10 %)
Achura final - Pistas principales de despegue	1200 m
Anchura final - Otras pistas	1200 m
Longitud - Pistas principales de despegue	15000 m
Longitud - Otras pistas	12000 m
Pendiente - Pistas principales de despegue	2 % a 1.6 %
Pendiente - Otras pistas	2.5 %

Tabla 2.8: Área y superficie de subida en el despegue para clave de referencia 2C

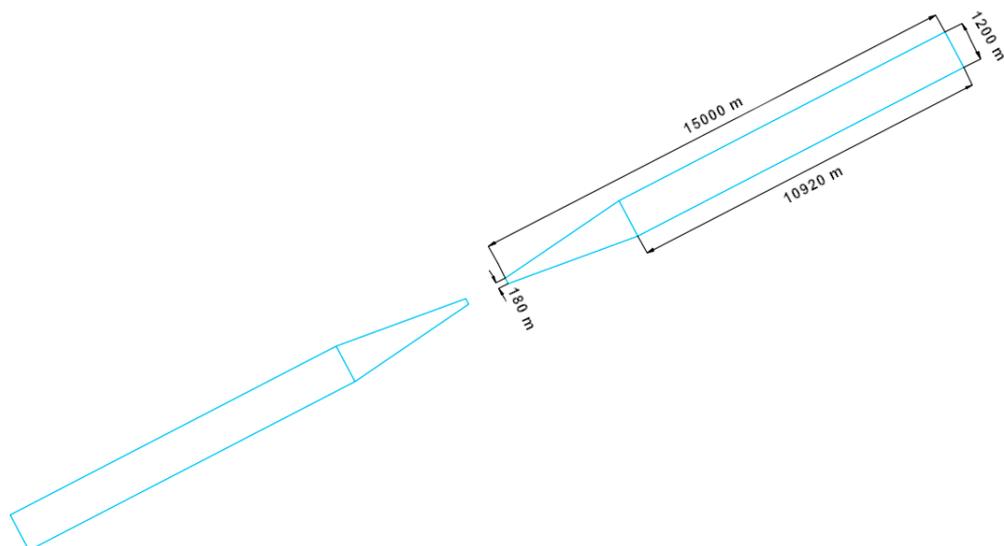


Figura 2.9: Superficie de subida de despegue (Fuente: Elaboración propia).

- Área y superficie de aproximación:** el área de aproximación es la parte especificada del terreno o extensión de agua, anterior al umbral de pista a la que afecten las maniobras en la fase de aproximación. En cuanto a la superficie de aproximación es la superficie plana inclinada o una combinación de planos, limitado en planta por la proyección vertical del área de aproximación.

Estas se definen a partir de los datos de la tabla 2.9:

Clave de referencia para las características	Pista clave C
Distancia del borde interior del umbral	60 m
Longitud del borde interior: Área de aproximación por instrumentos	300 m
Longitud del borde interior: Otras áreas de aproximación	150 m
Divergencias a cada lado Área de aproximación por instrumentos	15 %
Divergencias a cada lado: Otras áreas de aproximación	10 %
Longitud Área de aproximación por instrumentos	1500 m
Longitud Otras áreas de aproximación	3000 m
Pendiente de los primeros 3.000 metros Área de aproximación por instrumentos	2 %
Pendiente de los primeros 3.000 metros Otras áreas de aproximación	3.33 %
Pendiente más allá de los 3.000 metros Área de aproximación por instrumentos	2.5 %

Tabla 2.9: Área y superficie de aproximación para clave de referencia 2C

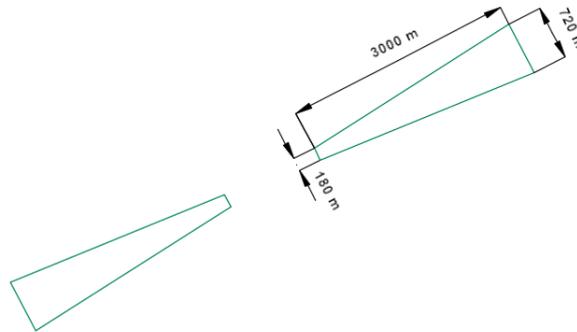


Figura 2.10: Superficie de aproximación (Fuente: Elaboración propia).

- **Superficie cónica.** Es la superficie especificada, de pendiente ascendente, que se extiende hacia fuera desde la periferia de la superficie horizontal interna. Esta superficie cónica se define a través de la superficie horizontal interna y externa de 4000 y 5500 metros de radio respectivamente.

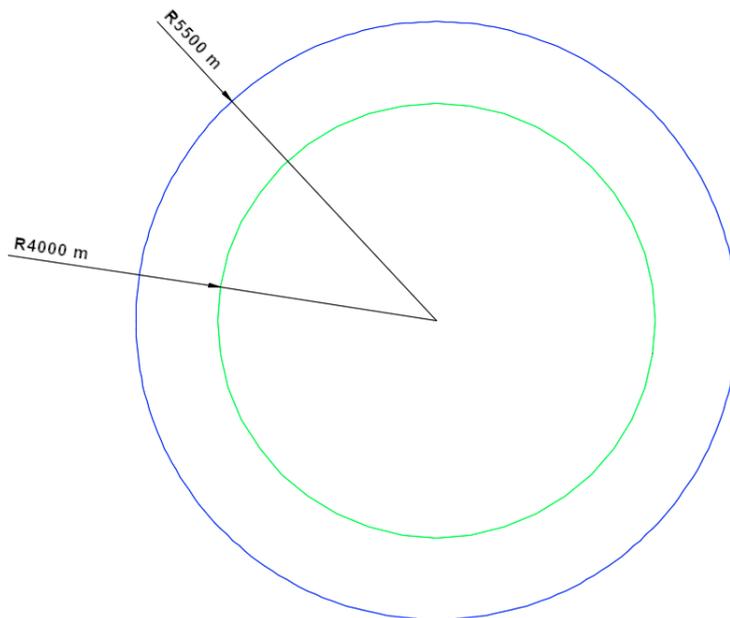


Figura 2.11: Superficie cónica (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, se muestra de manera conjunta las superficies libres de obstáculos definidas de manera individual anteriormente.

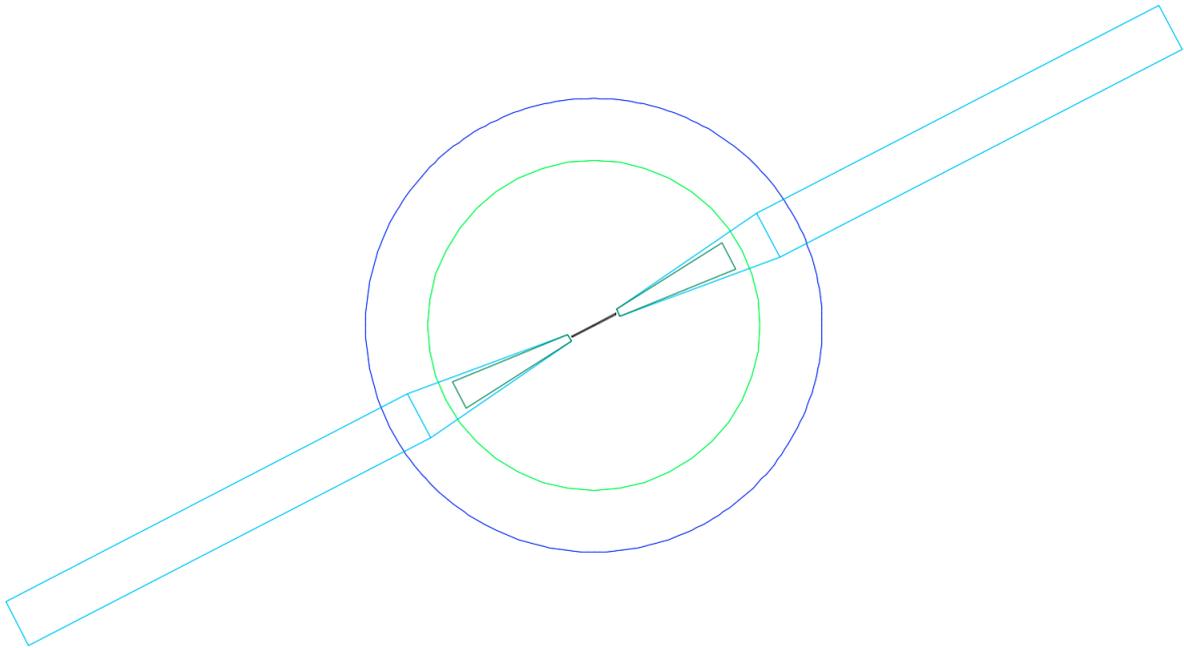


Figura 2.12: Superficies libres de obstáculos (SLO)(Fuente: Elaboración propia).

2.5.2. SLO representados sobre el mapa y análisis de vulnerabilidad de servidumbres

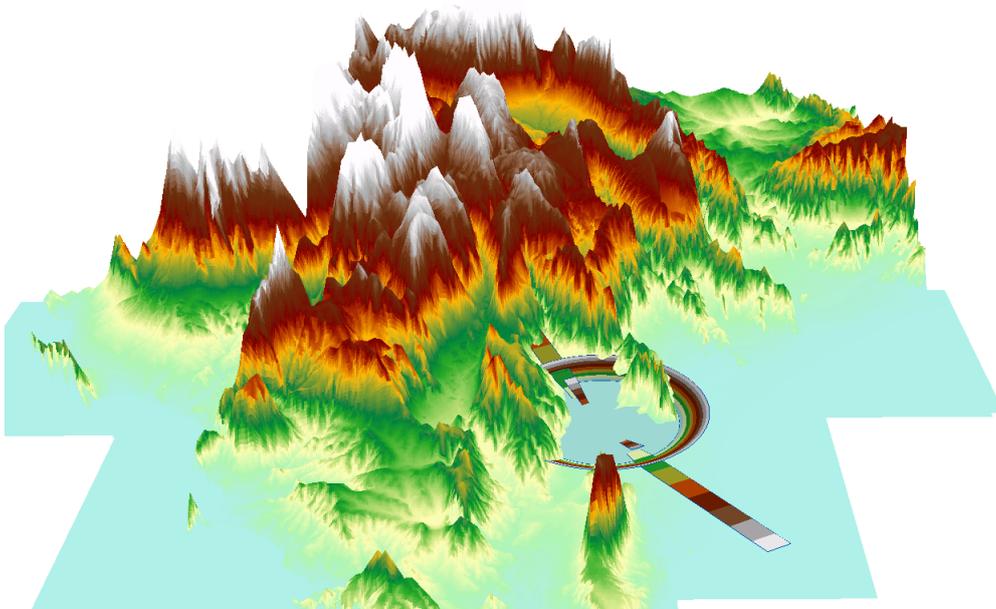


Figura 2.13: Superficies limitadoras de obstáculos sobre mapa de terreno mediante *ArcScene* (Fuente: Elaboración propia).

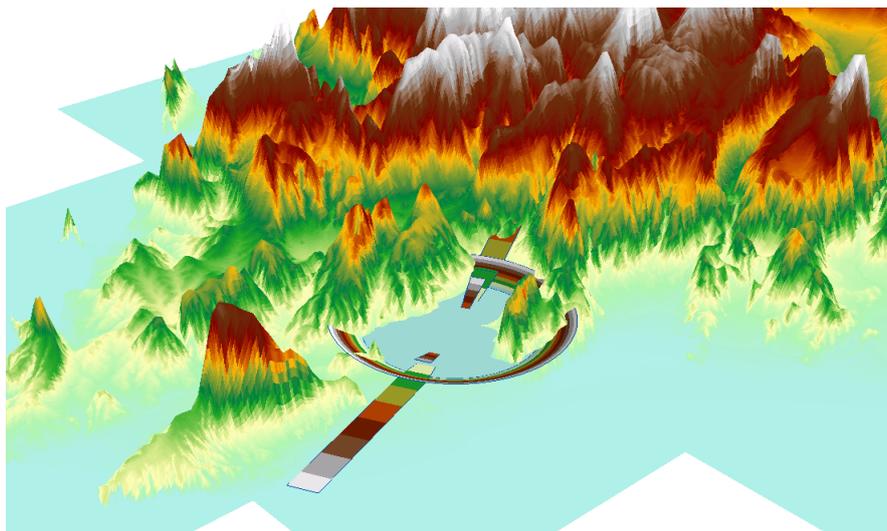


Figura 2.14: Superficies limitadoras de obstáculos sobre mapa de terreno mediante *ArcScene* (Fuente: Elaboración propia).

Mediante la aplicación de visualización 3D *ArcScene*, se representa las superficies de obstáculos sobre la selección del emplazamiento. Se aprecia que las superficies son penetradas por la presencia de una montaña en dirección noroeste. Aunque este sea un inconveniente para la función esencial de dichas superficies, no lo es para nuestro proyecto, puesto que, como se ha justificado en el apartado 2.3.2 y 2.3.3, dicha ubicación es ideal para cumplir con la función de las aeronaves de extinción de incendios. Además, la pista permite realizar el despegue en la dirección opuesta a la diseñada, idea pensada con antelación. La orientación de la pista permite a las aeronaves dirigirse al mar mediterráneo y acceder a los focos de zonas con altas posibilidad de incendio de manera más efectiva y rápida. Si se observa cada una de las superficies de interés, no quedan atravesadas por ningún obstáculo, en excepción de la superficie cónica. Por esta razón, será necesario indicar dichos obstáculos en las cartas de navegación para evitar posibles riesgos para las aeronaves.

A modo de resumen, la solución adoptada para situar el aeropuerto es perfecto debido a los beneficios que aporta la ubicación para una eficiente actuaciones de las aeronaves de extinción de fuegos durante el despegue. Además, tanto el despegue como el aterrizaje en pista se pueden realizar sin riesgos, siempre que este indicado los pocos obstáculos en las carta de navegación.

2.6. Elaboración de la cartografía aeronáutica

En esta sección, se elabora el plano del aeródromo a partir de la simbología adecuada de la cartografía aeronáutica. Esta aportará la información necesaria a la tripulación para realizar cualquier operación en el aeródromo. Asimismo, se indica las diferentes edificios y plataformas esenciales en un aeródromo de extinción de fuegos. En los apartados siguientes, se describe los aspectos más destacables del plano.

2.6.1. Indicador de lugar

El indicador de lugar es un grupo de clave formado por cuatro letras que determina la localización geográfica deseada. La primera y segunda letra hacen referencia a la identificación de la región del mundo y la identificación del país respectivamente. Para este aeródromo se utiliza la correspondiente a la Península y Baleares (L), y Península, Baleares, Ceuta y Melilla (E). En cuanto a las dos últimas letras hacen referencia a la identificación del aeródromo. De esta manera, el indicador de lugar del aeródromo de Beniarbeig es LELM.

2.6.2. Datos de la pista

Los datos de la pista están recogidos en un cajetín de referencia del aeródromo donde se resume el número de pistas, la dirección, la orientación, la localización y las características del pavimento (resistencia de pavimento), aunque este último no se ha tenido en cuenta. Toda esta información queda agrupada en el plano del aeródromo y se localiza en la parte superior izquierda. A continuación, se adjunta el cajetín en la Tabla 2.10:

RWY	DIRECCIÓN	THR
20	202°	38°48'30.37"N -000°0'41.47"W
02	022°	38°48'47.02"N -000°0'3.09"W

Tabla 2.10: Cajetín de referencia del plano del aeródromo

2.6.3. Otros datos de pista

En el plano se muestra las distintas zonas de seguridad (SWY, CWY, RESA y franja) con las dimensiones correspondientes como se mostró en el apartado 2.4. Además, se indica la elevación y posición de cada extremo de la pista. La RWY 20 tiene una elevación de 44.59 metros y una dirección de 202.5°, mientras que la RWY 02 tiene una elevación de 55.83 y una dirección 22.5°.

2.6.4. Plataforma e infraestructuras

Se ha diseñado un estacionamiento para aeronaves de extinción de fuegos con 10 puestos. Como se puede apreciar, el número de plazas es mucho inferior a los aeródromos de referencia, ya que no está diseñado para tener tráfico aéreo, sino para extinción de fuegos. Este mismo estacionamiento se equipa de suministros de combustible y lubricación.

Por otro lado, para el correcto funcionamiento del aeródromo y sus funciones se ha decidido incluir un hangar, un edificio de extinción y monotorización de incendios, un edificio de meteorología y emisores, y un edificio de extinción de incendios interno (SIE).

2.6.5. Plano de aeródromo

En el Anexo B, se adjunta el plano del aeródromo. En este, se muestra la elaboración de la cartografía aeronáutica mediante *AutoCad*, y se incluye los servicios y requisitos necesarios para el correcto funcionamiento de su objetivo principal, este es la actuación ante incendios en la comarca de la Marina Alta (Alicante).

3. Energía renovable

A continuación, tras realizar un diseño prototipo de un aeródromo de extinción de incendios, se procede a realizar un estudio de sostenibilidad energética mediante la aplicación de las energías renovables, y en concreto la energía solar y eólica. De esta manera, se realiza una introducción explicativa e histórica de ambas, para así poder finalizar con un diseño de instalación tipo que permita cumplir con el objetivo del trabajo desde el punto de vista de eficiencia energética y económica.

3.1. Energía solar

La energía solar es la energía renovable basada en el aprovechamiento de la radiación solar para generar energía eléctrica o calorífica. Esta energía renovable utiliza el recurso natural que mayor aporte energético tiene, este es el Sol, que contribuye al 94 % de la energía total de la Tierra y es esencial para sostener el ecosistema terrestre y permitir la vida. Para cuantificar la gigantesca importancia e influencia del sol como recurso, se realiza las siguientes comparaciones [22]:

- Según los datos en 2004, la energía solar fue 14000 veces mayor que el consumo energético humano.
- Tanto la energía incidente en la Tierra como la irradiada por el Sol en un periodo de tiempo de un año es:
 - 10 veces mayor que las reservas de carbón.
 - 20 veces mayor que las reservas de fuel.
 - 50 veces mayor que las reservas de uranio
 - 100 veces mayor que las reservas de gas natural.

En cuanto a las tecnologías utilizadas para la conversión de la radiación solar en energía útil, se distinguen la tecnología solar térmica y la fotovoltaica [22]. En primer lugar, la energía solar térmica aprovecha el aporte calorífico del Sol, convirtiendo la radiación solar en energía térmica para calentar un fluido para diversos usos. En segundo lugar, la energía fotovoltaica permite la obtención directa de electricidad a partir de la radiación solar mediante el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones con paneles solares fotovoltaicos. Esta última tecnología es la que se utiliza en este proyecto, ya que es modular, es decir, puede usarse para el autoconsumo o también para abastecer a la red eléctrica a través de grandes centrales.

3.1.1. Evolución histórica de la energía fotovoltaica

Los principios de la energía fotovoltaica datan del año 1839 cuando el científico francés Edmond Becquerel, investigador del espectro solar, el magnetismo, la electricidad y la óptica, descubrió el efecto fotovoltaico. Con solo 19 años, creó la primera célula fotovoltaica utilizando cloruro

de plata o bromuro de plata para recubrir los electrodos de platino. Logró así, iluminar los electrodos, generando voltaje y corriente [23] [24] [25].

De esta manera, se define efecto fotovoltaico a la generación de voltaje y corriente eléctrica en un material tras exponerlo a la luz. Dicha luz es absorbida, causando la excitación de un electrón u otro portador de carga a un estado de mayor energía, y se produce potencial eléctrico por la separación de cargas por difusión, y la luz tiene que tener una energía suficiente para superar la barrera potencial para la excitación.

En 1873, Willoughby Smith se descubrió la fotoconductividad del selenio, lo que supuso un gran avance en el sector fotovoltaico y la invención de las células fotoeléctricas. Tres años más tarde, en 1876, William Grylls y Richard Day descubrieron que el selenio podía producir electricidad a partir de la luz, sin calor o partes móviles que pudieran descomponerse. Esto significaba que mediante la exposición del selenio a la luz, se producía una diferencia de potencial que conllevaba un desplazamiento de electrones y huecos, dando lugar a una corriente eléctrica. Esto supuso las primeras etapas de la energía fotovoltaica y de la posibilidad de aprovechar un recurso natural como las radiaciones solares para obtener energía eléctrica, a pesar de la baja eficiencia de dicha transformación [24] [25].



Figura 3.1: Primeras celdas solares creadas por Charles Fritts en 1883 (Fuente: Bell - BBVA).

Todo esto derivó a que el inventor estadounidense Charles Fritts creara a partir de las investigaciones anteriores, la primera célula fotovoltaica en 1883, compuesta de selenio, una delgada capa de oro y una eficiencia baja del 1 %, aunque sin la capacidad para dar el salto al mercado de consumo. Asimismo, en 1887, el físico alemán Heinrich Rudolf Hertz experimentó con el efecto fotoeléctrico, usando la luz para liberar electrones de una superficie sólida con el objetivo de generar energía. Con ello, se consiguió una mayor cantidad de energía al exponer la célula a luz ultravioleta. Dicho fenómeno fue explicado por Albert Einstein y fue motivo para ser premiado con el premio Nobel. La idea principal de esta explicación era que las células necesitaban este efecto fotoeléctrico para convertir la luz solar en energía eléctrica de corriente continua [23] [24] [25].

Tras más de seis décadas de pocos avances, en 1953, Calvin Fuller, Gerald Pearson y Daryl Chapiun descubren la primera célula de Silicio y revolucionan el mundo de las células solares. La incorporación del silicio supuso un coste de material más barato y alcanzar eficiencias más altas. Así, los laboratorios Bell estudiaron y concluyeron que el Silicio era más eficiente que el selenio, dando origen a la primera célula solar práctica con eficiencia del 6 %, y con aplicación útil en equipos eléctricos. Finalmente, esta tecnología empezó a comercializarse sin mucho éxito

debido a su elevado coste y estar en fases primitivas [25].

Sin embargo, durante los años 60, gracias al interés del sector aeroespacial en aplicar esta nueva tecnología en los pequeños satélites solares a modo de alimentación energética, supuso un gran avance y desarrollo en la tecnología de la célula.



Figura 3.2: Satélite en órbita equipado con células solares (Fuente: Getty images).

Durante la primera década del siglo XXI, debido a la considerable bajada de precio de coste, la energía fotovoltaica comenzó a tener una mayor aplicabilidad en las centrales de producción eléctrica, al igual que el autoconsumo comenzó a ser considerado como alternativa realista de alimentación eléctrica de viviendas e industrias. No obstante, no fue hasta la segunda década del siglo XXI cuando la energía fotovoltaica consiguió su mayor auge al ser una tecnología económicamente competitiva, y debido a que reducía los costes de manera considerable [22].

Además, su aplicabilidad en la automoción, la bajada de precio de las baterías de almacenamiento y el ser favorable para el medioambiente al reducir los gases de efecto invernadero, la energía fotovoltaica se ha posicionado como una de las tecnologías de generación con más presente y de gran expectativa para el futuro.

3.1.2. Clasificación de la energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica se puede clasificar según los siguientes criterios [22]:

1. Según su tamaño :

- **Instalaciones FV de pequeña escala:** están destinadas a autoconsumo, tanto doméstico como industriales, de potencia instalada entre 3 a 10 kW. Además, se distingue entre autoconsumo con excedentes y sin excedentes.
- **Instalaciones FV de gran escala:** están destinadas a la generación eléctrica, a partir de 1 MW. En España, la potencia instalada es de 8700MW.

2. Según si están conectadas a la red eléctrica:

- **Aisladas:** estas se caracterizan por no tener disponibilidad de estar conectada a la red eléctrica, ya sea por imposibilidad u otros motivos. Para las placas aisladas, se

necesita un sistema de almacenamiento para no quedarnos sin energía durante los momentos sin sol.

- **Conectadas a red:** las instalaciones de autoconsumo se hacen habitualmente conectadas a red eléctrica, ya que en los momentos que no tengamos de energía solar, será esta red la que nos aportará la energía necesaria.

3. Según si disponen de almacenamiento:

- **Sin almacenamiento:** el objetivo principal es utilizar toda la energía que utilizo de manera directa. Por ello, la demanda energética se debe adaptar a la curva de producción fotovoltaica y supone una inversión económica menor al no disponer de ningún tipo de sistema de almacenamiento.
- **Con almacenamiento:** se hace uso de baterías que almacenan la producción energética del sistema solar, para utilizarla cuando sea necesario. Así, se permite una mayor flexibilidad en el consumo y es muy útil para evitar microcortes producidos por la red eléctrica que puedan dañar la maquinaria existente.

3.1.3. Principales componentes de la instalación fotovoltaica

Para desarrollar los principales componentes de las instalaciones fotovoltaicas hay que diferenciar si se trata de un sistema fotovoltaico de autoconsumo o generación eléctrica, puesto que la finalidad no es la misma y por consiguiente, sus componentes tampoco.

En primer lugar, cuando se hace referencia a autoconsumo solar [25], es la forma de generación eléctrica mediante la producción de esta en el mismo punto de consumo o muy cercano. Esto permite reducir la dependencia de red eléctrica, ahorrar en la factura de la luz, aumentar la eficiencia energética y contribuir a la lucha por el cambio climático entre otros beneficios. Para este tipo de instalación fotovoltaica, se hace uso de los siguientes componentes:

- **Panel solar:** es un elemento esencial de la instalación que transforma la radiación solar en energía de corriente continua.
- **Estructura:** fija los paneles solares a la superficie deseada. Además, permite orientar los módulos a la orientación e inclinación calculada u óptima para conseguir la mayor producción eléctrica.
- **Inversor de conexión a red:** este inversor convierte la energía de corriente continua a corriente alterna, para utilizarla en las infraestructuras o inyectarla a la red eléctrica.
- **Inversor cargador:** permite convertir la energía de corriente alterna en energía de corriente continua para cargar las baterías.
- **Cuadro de protecciones:** alimenta energéticamente a la infraestructura objetivo y el exceso de esta lo aportaría a la red eléctrica.

Todos estos componentes engloban la instalación fotovoltaica general de autoconsumo con almacenamiento, aunque esta puede variar. A modo de ejemplo, se podría utilizar un regulador de carga y un inversor en vez de dos inversores, de conexión y cargador respectivamente. Por ello, hay que ajustar y estudiar los elementos a la finalidad final de la instalación.

En segundo lugar, cuando se hace referencia a instalaciones de generación fotovoltaica [25], se trata de instalaciones diseñadas a tamaño gran escala para la venta de energía exclusivamente a la red eléctrica. Por esta razón, se ha de lograr que la instalación genere electricidad bajo unos parámetros de calidad, tensión y frecuencia.

En cuanto a los principales componentes de la instalación de generación fotovoltaica, incluye algunos elementos similares a la instalación de autoconsumo, aunque de mayor extensión y tamaño ante la necesidad de generar una mayor cantidad de electricidad :

- **Paneles fotovoltaicos:** engloba un array de paneles extenso ante la necesidad de generar potencias elevadas (de megavatios).
- **Inversor central:** su función es convertir la energía continua en alterna, y regular el funcionamiento de la planta solar para su correcto funcionamiento.
- **Transformador de media y alta tensión:** para inyectar la potencia en la red de distribución o de transporte.
- **Controlador de planta (PCC):** este elemento se utiliza para instalaciones de generación de potencias mayores a 10 MW, y es un dispositivo electrónico que se encarga de gestionar el funcionamiento de los inversores para proporcionar los mejores requerimientos y calidad de energía que exige la red eléctrica.

3.1.4. Funcionamiento de los paneles solares y el inversor

En las instalaciones desarrolladas en el apartado 3.1.3, se aprecia dos elementos principales comunes, estos son el panel solar y el inversor. Debido a la importancia de ambos, a continuación se expone el funcionamiento detallado de ambos componentes.

En primer lugar, el panel solar es el elemento más importante del conjunto de la instalación, puesto que transforma la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua mediante el efecto fotoeléctrico. El material del que están hechas suele ser silicio cristalino y cada célula puede producir entre 4-5 W. Asimismo, tienen un rendimiento global, esto es la energía solar incidente entre la energía eléctrica producida de aproximadamente el 14 al 21 %.

Dentro de los paneles solares se pueden distinguir entre diferentes [22] [25] :

- **Célula:** es la unidad mínima capaz de producir energía eléctrica a partir de la radiación solar. Está formada por dos capas: la capa P que está cargada positivamente y formada por silicio y boro, por lo cuál queda un hueco electrónico libre; y la capa N que está cargada negativamente y está formada por silicio y fósforo, teniendo un electrón libre.



Figura 3.3: Célula solar (Fuente: MRWATT).

- Panel solar o módulo:** está formada por un conjunto de células solares en serie y paralelo en función del tipo de módulo objetivo. Además, es capaz de producir una potencia con unas determinadas características de tensión y corriente según su onda corriente frente a tensión y curva de potencia frente a tensión. Se puede distinguir tres tipos de tecnología: monocristalino, policristalino y amorfo. El más utilizado en los últimos años es el policristalino por su coste relativamente bajo y un rendimiento bueno. No obstante, se prevé un gran auge y apuesta por la tecnología monocristalino, debido a su elevada eficiencia y su gran densidad energética, a pesar de un coste ligeramente elevado en comparación con el resto de tipos.

Si nos centramos en la composición un módulo, estas están formadas por aproximadamente entre 60 a 72 células fotovoltaicas de silicio cristalino distribuidas en serie y paralelo. Así, para un módulo de 60 células se puede lograr una potencia de entre 250 a 300 W, mientras que las de 72 células entre 300 y 350 W.



Figura 3.4: Módulo solar (Fuente: kalkulatomocny).

- Array:** si unimos los paneles solares en strings conectados en serie y posteriormente, se agrupan estos string en paralelo, se obtiene los arrays fotovoltaicos.



Figura 3.5: Array fotovoltaico (Fuente: sunrun).

En cuanto a la composición y partes de los módulos fotovoltaicos [22], se muestra a modo de resumen la Figura 3.6.

La primera y segunda capa (marco y vidrio templado) tienen como función principal proteger y unir las diferentes partes del módulo. El vidrio templado también debe ser lo más transmisible posible, para que toda la radiación solar incidente pase a las siguientes capas. La tercera capa es el encapsulado, que se encarga de proteger las células solares, situándose en ambas caras de estas, y está compuesto por un material que es capaz de resistir el calor, la radiación UV y, además, ser aislante eléctrico.

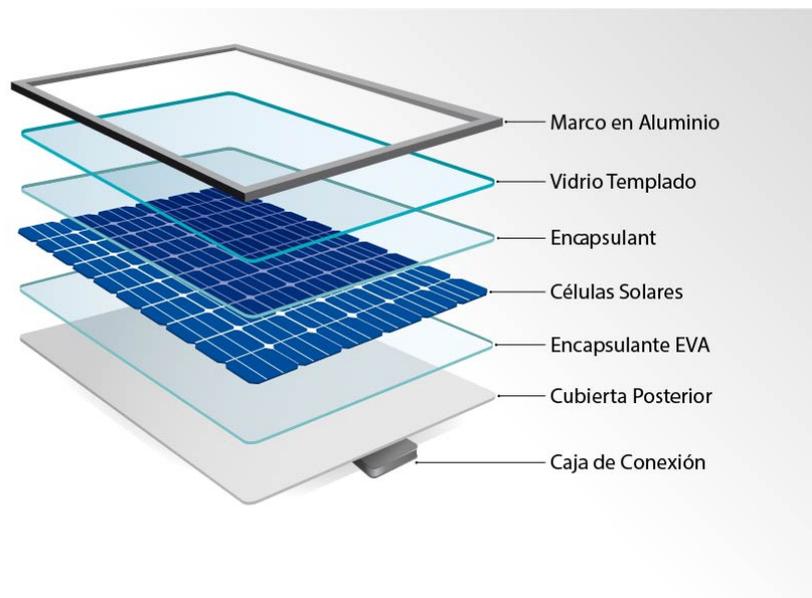


Figura 3.6: Partes de un módulo fotovoltaico (Fuente: Youtube).

A continuación, para finalizar con los conocimientos sobre los paneles solares, se introduce el principio de funcionamiento de las células fotovoltaicas. Este funcionamiento se resume en transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico y la tecnología de la célula solar. Todo este proceso se puede explicar en unos pasos de manera más específica [22]:

1. Una vez absorbida la radiación solar por la célula, se crea una diferencia de potencial que favorecen el intercambio de electrones de la capa N a la P.

2. Esta diferencia de potencial se logra mediante la energía de los fotones contenidos en la radiación solar incidente que aportan la energía suficiente para superar la banda de conducción y así, producir este intercambio de electrones.
3. Así, se crea corriente de electrones entre ambas capas dando lugar a energía eléctrica en corriente continua.

En segundo lugar, el inversor es el encargado de transformar la energía eléctrica de corriente continua procedente de los paneles solares en energía eléctrica de corriente alterna. Según su función, hay diferentes tipos de inversores, como por ejemplo los inversores de conexión a red que aseguran el cumplimiento de los requerimientos y calidad de la corriente para que pueda ser inyectada a la red eléctrica, y los inversores de autoconsumo explicados en el apartado 3.1.3. Tienen un rendimiento muy elevado de más del 95 %, ya que es esencial para que se realice correctamente la transformación de energía bajo las características específicas requeridas.

3.1.5. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

PVGIS es una herramienta gratuita que permite estimar la producción de electricidad solar de un sistema fotovoltaico definiendo parámetros tales como la inclinación y orientación de los módulos. Presenta la posibilidad de hacer los cálculos para sistemas independientes o conectados a red, y puede ser aplicado en Europa, África, Asia y América. Además, mediante este programa se puede obtener todos los datos de radiación solar (para meses, días y horas); un archivo de datos a largo plazo de los últimos años sobre la temperatura, humedad, presión del aire y viento; y un dimensionado de una instalación solar en base a los datos de PVGIS.

Mediante esta herramienta, se hará una estimación bastante válida de los parámetros y datos sobre los cuales debemos trabajar para dimensionar y crear la instalación fotovoltaica de nuestro aeródromo.

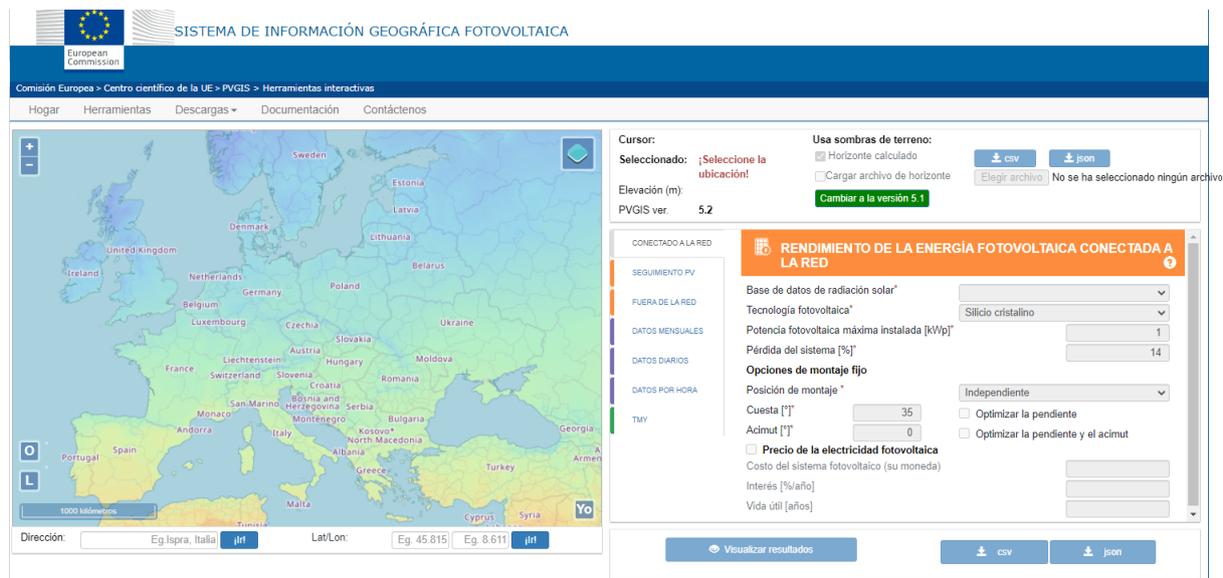


Figura 3.7: Programa PVGIS con sus diferentes opciones de cálculo y obtención de datos (Fuente: PVGIS).

Datos de radiación solar

En primer lugar, se obtiene los datos de radiación solar para meses, días y horas de la ubicación deseada. Antes de continuar con la manipulación del programa, se desarrolla unos conceptos previos para entender los parámetros a tratar:

- **Latitud:** es la posición de la distancia norte-sur con respecto al ecuador. Su valor van de 0° a 90° .
- **Longitud:** es la distancia este-oeste con respecto al meridiano de Greenwich. Su valor va de 0° a 180° .
- **Base de datos de la radiación solar:** existen diferentes bases de datos basadas en satélites (PVGIS-SARAH2, PVGIS-SARAH y PVGIS-ERA5). La base de datos PVGIS-SARAH2 es producida por CMSAF para sustituir a SARAH-1 (PVGIS-SARAH). Cubre Europa, África, la mayor parte de Asia y partes de América del Sur, con un rango temporal de 2005 a 2020.
- **Irradiación horizontal global:** es la suma mensual de la energía de radiación solar que alcanza un metro cuadrado de un plano horizontal, medida en kWh/m^2 .
- **Irradiación normal directa:** es la suma mensual de la energía de la radiación solar que golpea un metro cuadrado de un plano siempre mirando en la dirección del sol, medida en kWh/m^2 , incluyendo sólo la radiación que llega directamente del disco del sol.
- **Ángulo óptimo de irradiación global:** es la suma mensual de la energía de radiación solar que alcanza un metro cuadrado de un plano orientado en la dirección del ecuador, en el ángulo de inclinación que da la mayor irradiación anual, medida en kWh/m^2 .
- **Relación difusa/global:** es el valor mensual de la relación entre la irradiación difusa y la irradiación horizontal global, es decir, la fracción de la irradiación solar total que proviene de las nubes y el cielo.
- **Hora UTC y local:** para los gráficos diarios o la descarga diaria de datos, se puede elegir la hora horaria de dos maneras diferentes: en la zona horaria local de la ubicación que se eligió o en la hora universal (UTC).
- **Inclinación:** es el ángulo de los módulos fotovoltaicos desde el plano horizontal, para un montaje fijo.
- **Acimut:** es el ángulo de los módulos fotovoltaicos en relación con la dirección hacia el sur. -90° es Este, 0° es Sur y 90° es Oeste.

Una vez explicados los conceptos principales, se muestra los datos mensuales, diarios y por hora obtenidos sobre la radiación solar.

Datos mensuales

En el mapa de PVGIS, se ubica la posición del aeródromo mediante la latitud y longitud, y se selecciona la base de datos de radiación solar PVGIS-SARAH2, ya que permite obtener los datos de 2005 a 2020.

Latitud	38.80911
Longitud	-0.011815
Base de datos	PVGIS-SARAH2
Año de inicio	2005
Fin de año	2020

Tabla 3.1: Parámetros para obtener datos mensuales de irradiación.

Acorde a la información que se puede obtener, se selecciona la información de irradiación horizontal global, irradiación normal directa y ángulo óptimo de irradiación global, además de la relación difusa/global y las temperaturas medias. Así, se obtiene las gráficas y tablas que muestran datos útiles sobre la localización del aeródromo.

En primer lugar, se muestra gráficamente la estimación de irradiación solar mensual de 2005 a 2020, junto a una tabla resumen de los datos. Se observa una tendencia similar a lo largo de los años sobre los máximos y mínimos de irradiación. De manera particular, los meses que mayor irradiación solar tienen son mayo, junio, julio y agosto, mientras los meses de menor irradiación son los correspondientes a otoño e invierno. Esto es beneficioso, ya que la mayor aportación de radiación solar se va a producir en los meses de verano, en los cuales predominan los incendios.

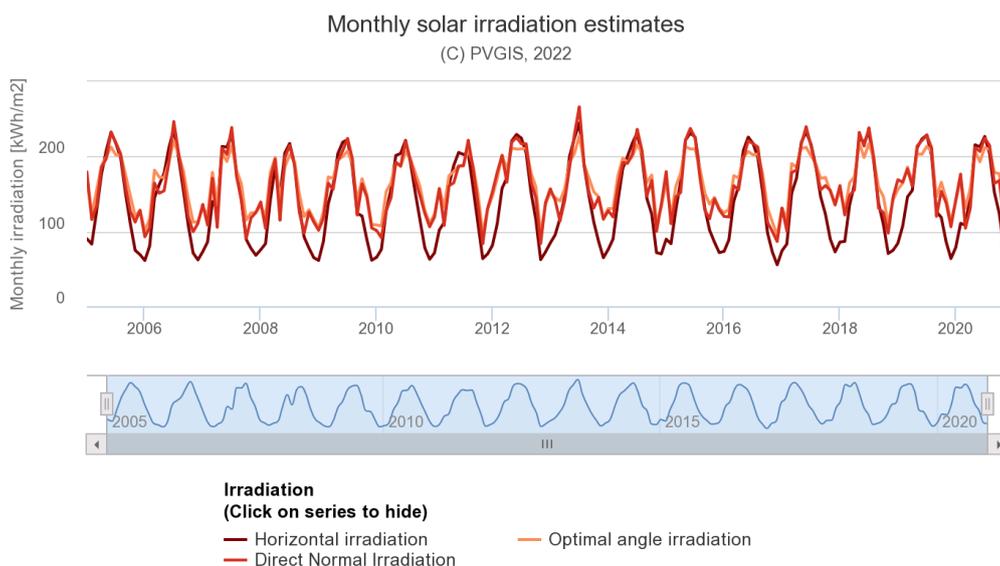


Figura 3.8: Estimación de irradiación solar mensual de 2005 a 2020 (Fuente: PVGIS).

Mes	Irrad. horizontal [kWh/m ²]	Irrad. contra inclinación óptima [kWh/m ²]	Irrad. normal directa [kWh/m ²]
Enero	70,89	125,43	126,83
Febrero	85,53	126,61	120,16
Marzo	126,52	157,23	142,97
Abril	152,05	161,99	148,87
Mayo	190,10	182,46	181,02
Junio	204,72	186,60	198,03
Julio	210,74	196,25	212,05
Agosto	182,70	186,75	188,79
Septiembre	135,67	157,74	141,85
Octubre	104,46	142,91	127,91
Noviembre	71,63	116,21	108,92
Diciembre	62,76	115,13	114,30

Tabla 3.2: Irradiación media por meses desde 2005 a 2020.

Como el objetivo de la instalación fotovoltaica es que su funcionamiento sea a lo largo de todo el año, se establece un inclinación del panel fijo igual a la latitud, es decir 40° y de azimut 0°. De esta manera, se obtiene datos más concretos para el panel que se va a instalar en nuestro sistema.

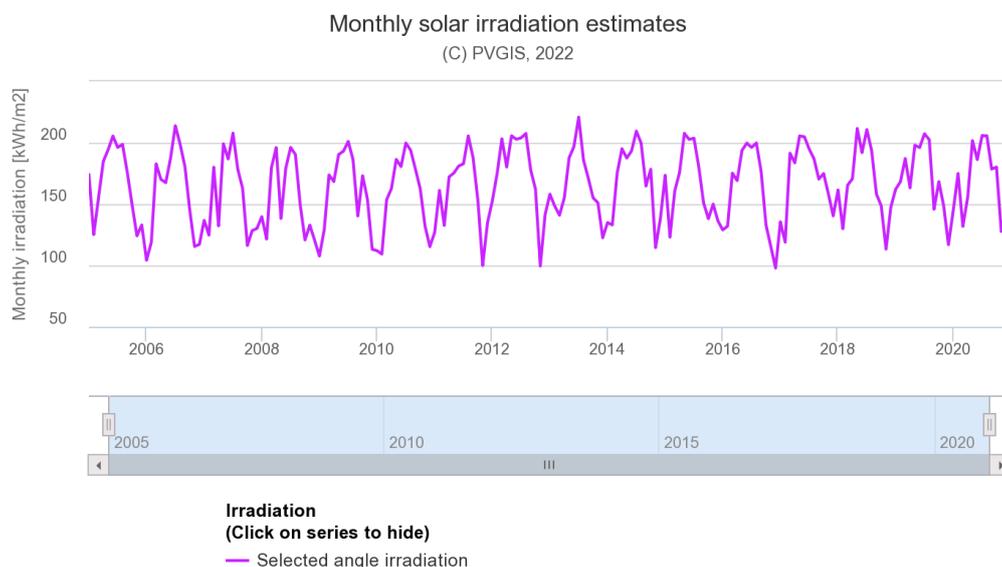


Figura 3.9: Irradiación global para una inclinación y azimut de 40° y 0° respectivamente, desde 2005 a 2020 (Fuente: PVGIS).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Irrad. horizontal [kWh/m ²]	129,95	129,35	157,95	159,90	177,63	180,31	190,37	183,31	157,34	145,00	119,67	119,62

Tabla 3.3: Irradiación media global para una inclinación y azimut de 40° y 0° respectivamente, desde 2005 a 2020.

Se analiza, nuevamente, una irradiación global de máxima 190.37 kWh/m² durante el mes de julio y con valores aproximados durante los meses de junio y agosto. Si se compara los valores obtenido para inclinación óptima y para la inclinación de 40°, hay poca diferencia de irradiación de los paneles. Se pierde hasta un máximo de 3.77 % en verano, pero tenemos una mayor irradiación solar en invierno. Por ello, se confirma el valor 40° como inclinación, tanto por tener valores aceptables, como por ser el más indicado si se trata de una instalación que se desea que funcione a lo largo de todo un año.

Mes	Irrad. horizontal a 40° [kWh/m ²]	Irrad. con inclinación óptima [kWh/m ²]	Diferencia [%]
Enero	129,95	125,43	3,60
Febrero	129,35	126,61	2,16
Marzo	157,95	157,23	0,46
Abril	159,90	161,99	-1,29
Mayo	177,63	182,46	-2,65
Junio	180,31	186,60	-3,37
Julio	190,37	196,25	-2,99
Agosto	183,31	186,75	-1,84
Septiembre	157,34	157,74	-0,26
Octubre	145,00	142,91	1,46
Noviembre	119,67	116,21	2,98
Diciembre	119,62	115,13	3,90

Tabla 3.4: Diferencia entre la irradiación para una inclinación y azimut de 40° y 0° respectivamente, y la irradiación con inclinación óptima desde 2005 a 2020.

Además, mediante la opción de datos mensuales, se puede obtener datos sobre los valores mensuales de la relación entre la irradiación difusa y la irradiación horizontal global, es decir, la fracción de la irradiación solar total que proviene de las nubes y el cielo. Generalmente, los valores altos de D/G corresponden a climas nublados, pero como se observa en la tabla siguiente, los valores son bajos y oscilan entre 0.28 y 0.37 %.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Relación entre la irrad. difusa y global [%]	0,3	0,34	0,35	0,35	0,32	0,30	0,28	0,30	0,36	0,37	0,37	0,35

Tabla 3.5: Relación entre la irradiación difusa y la global desde 2005 a 2020.

Finalmente, se muestra los valores de temperatura media durante los años 2005 y 2020. Aunque en el apartado 2.3.4 se estudió la temperatura máxima de referencia, se va a realizar nuevamente un estudio de los datos de temperatura media con la ayuda de la herramienta PVGIS. Los valores obtenidos son la temperatura media de los últimos 15 años para la ubicación del aeródromo. No obstante, en los siguientes apartados, se aportaran datos de temperatura más específicos para los meses de interés, tales como aquello donde mayores temperaturas se registran.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura media [°C]	9,02	9,32	11,29	13,48	16,70	20,68	23,44	23,23	20,42	16,98	12,38	9,63

Tabla 3.6: Temperatura media desde 2005 a 2020.

Datos diarios

Esta opción de la herramienta PVGIS, permite obtener los datos de irradiación por meses . Es interesante para apreciar los meses de mayor irradiación como verano e incluso los meses de menos irradiación como en invierno para obtener conocimiento de los datos de la localización del aeródromo de extinción de incendios. También, presenta la opción de poder hacer el cálculo mediante paneles de plano fijo o seguimiento solar. Se opta por paneles de plano fijo debido a su menor coste de la unidad como de mantenimiento, aunque los paneles de seguimiento solar tienen mejores prestaciones como es evidente. A continuación, se muestra los valores de los parámetros de inicio:

Latitud	38.80911
Longitud	-0.011815
Base de datos	PVGIS-SARAH2
Inclinación [°]	40
Acimut [°]	0
Hora	Hora local

Tabla 3.7: Parámetros para obtener datos diarios de irradiación.

Según el estudio realizado anteriormente, es interesante analizar, por un lado los meses de mayor irradiación solar, y por el otro lado, lo de menor irradiación. De esta manera, se presenta los siguientes datos:

1. Meses de mayor irradiación solar. En primer lugar, se va a hacer un análisis de los datos de irradiación y temperatura de los meses de mayo, junio, julio y agosto. En estos meses se producen casi la totalidad de los incendios en la península, por lo que son datos de gran interés para la funcionalidad del aeródromo.

Horas	Irradiación [Wh/m ²]	Irradiación directa [Wh/m ²]	Irradiación difusa [Wh/m ²]	Temperatura [°C]
6:00	10,24	0	9,95	18,47
7:00	67,90	7,80	56,76	19,12
8:00	230,42	113,13	110,12	21,13
9:00	417,85	253,94	152,80	22,52
10:00	587,92	387,45	185,99	23,65
11:00	718,05	493,07	207,96	24,55
12:00	804,50	567,81	218,00	25,24
13:00	832,20	594,14	218,84	25,71
14:00	799,60	571,77	209,21	25,97
15:00	701,52	490,47	194,30	26,05
16:00	565,38	382,58	168,65	25,92
17:00	378,25	232,97	134,86	25,60
18:00	186,72	87,23	93,13	25,06
19:00	50,27	0	48,87	24,29
20:00	1,50	0	1,46	23,08

Tabla 3.8: Irradiación [Wh/m²] y temperatura de los meses de mayor influencia solar de 2005 a 2020.

Se destaca como horas de máxima irradiación entre las 13:00 y 14:00 con valores que alcanzan los 832 Wh/m². Asimismo, en estas horas coincide los máximos de temperatura de valor aproximado a los 26 °C.

A modo de ejemplo, se muestran las gráficas correspondientes a la temperatura e irradiación media durante un día de julio, puesto que es el mes donde se muestran los máximos valores.

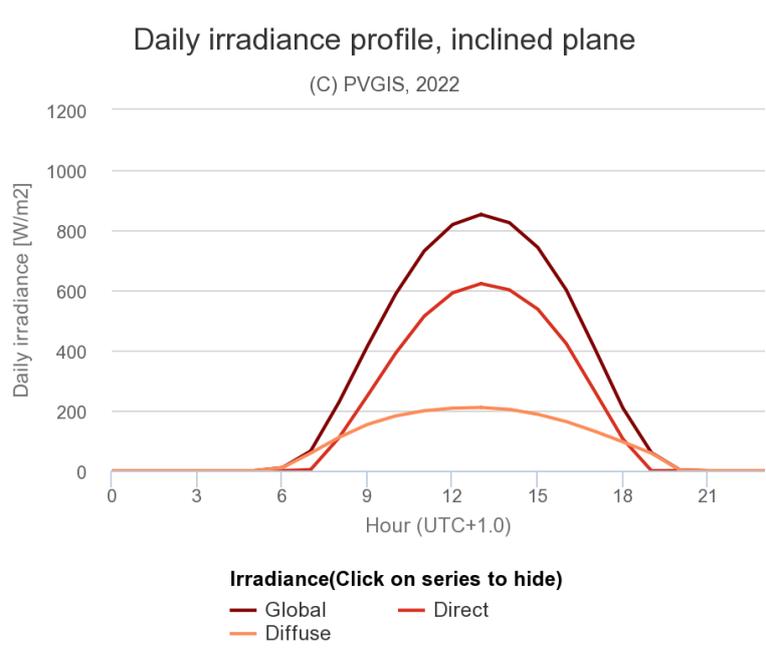


Figura 3.10: Irradiación media correspondiente a un día de junio entre 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).

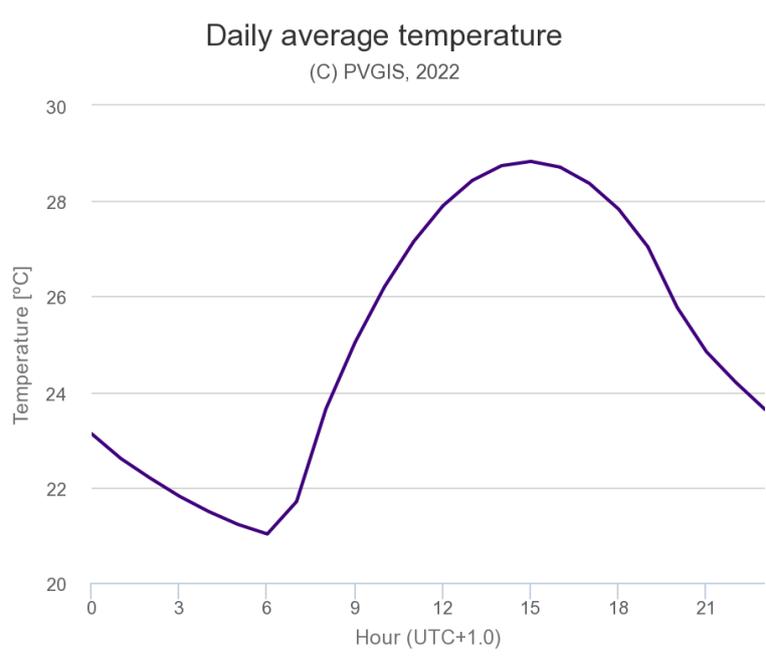


Figura 3.11: Temperatura media correspondiente a un día de junio entre 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).

2. Meses de menor irradiación solar. En segundo, se va a hacer un análisis de los datos de irradiación y temperatura de los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. En estos meses hay menor temperatura e irradiación por las condiciones temporales lógicas de la estación invernal. De manera análoga, se realiza una tabla resumen de los datos medios para un día de estos meses.

Horas	Irradiación [Wh/m ²]	Irradiación directa [Wh/m ²]	Irradiación difusa [Wh/m ²]	Temperatura [°C]
8:00	23,02	14,97	7,80	8,39
9:00	248,13	169,67	75,60	8,91
10:00	436,92	311,43	119,71	10,71
11:00	585,57	428,96	148,41	12,19
12:00	671,64	499,08	162,91	13,11
13:00	686,73	509,26	167,53	13,73
14:00	649,28	479,89	160,10	14,11
15:00	549,27	398,23	143,42	14,26
16:00	397,90	280,56	112,22	14,13
17:00	203,10	142,79	58,13	13,66
18:00	16,05	10,19	5,67	12,79

Tabla 3.9: Irradiación [Wh/m²] y temperatura de los meses de menor influencia solar entre 2005 y 2020.

Se destaca como horas de máxima irradiación entre las 12:00 y 13:00 con valores que alcanzan los 686 Wh/m². En cuanto a la temperatura máxima, se obtiene entre las horas 14:00 y 15:00 con valores de aproximadamente 14 °C.

A modo de ejemplo, se muestran las gráficas correspondientes a la temperatura e irradiación media durante un día de noviembre, puesto que es el mes donde se muestran los mínimos valores.

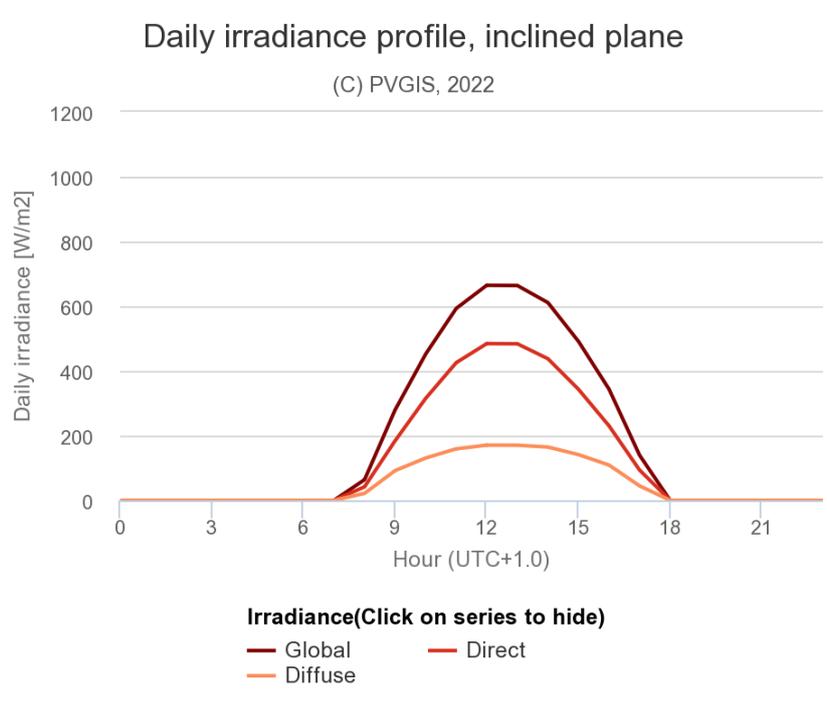


Figura 3.12: Irradiación media correspondiente a un día de noviembre entre 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).

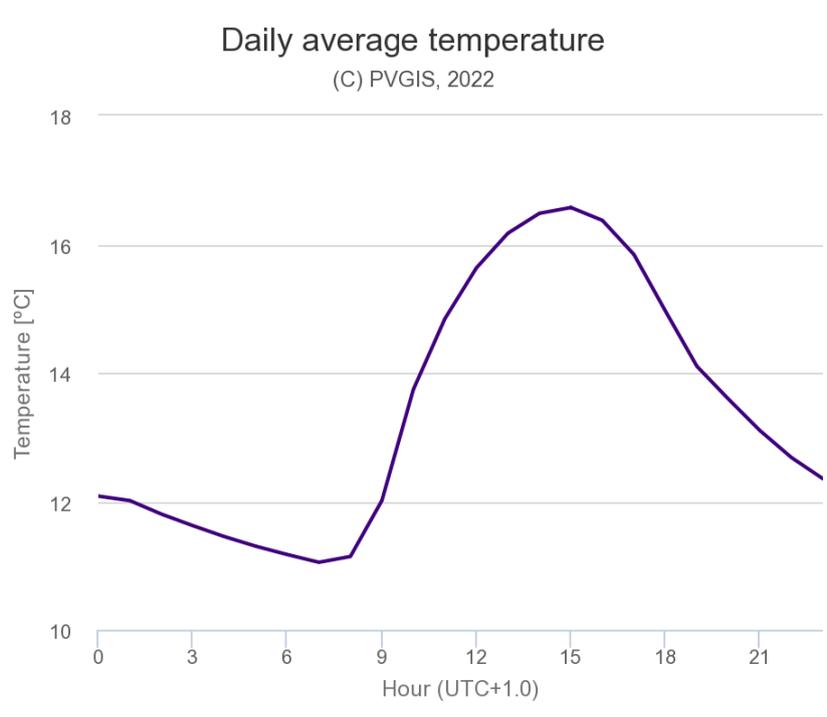


Figura 3.13: Temperatura media correspondiente a un día de noviembre de 2005 a 2020 (Fuente: PVGIS).

Rendimiento fotovoltaico

Ese apartado se centra en el análisis y estudio del rendimiento fotovoltaico de la instalación solar. Nuevamente, se hace uso de la herramienta PVGIS, pero en este caso, se utiliza las secciones de rendimiento de un sistema FV conectado a red y rendimiento de un sistema FV de autoconsumo. Para iniciar con ello, es necesario explicar algunos conceptos nuevos:

- **Tecnología fotovoltaica:** el rendimiento de los módulos fotovoltaicos depende de la temperatura y de la irradiancia solar, así como del espectro de la luz solar, pero la dependencia exacta varía entre los diferentes tipos de módulos fotovoltaicos. Por el momento podemos estimar las pérdidas debidas a los efectos de temperatura e irradiancia para los siguientes tipos de módulos: células de silicio cristalino, módulos de película delgada hechos de CIS o CIGS y módulos de película delgada hechos de telurio de cadmio (CdTe).
- **Potencia fotovoltaica máxima instalada:** es la potencia que el fabricante declara que la matriz fotovoltaica puede producir en condiciones de prueba estándar, que son una constante de 1000W de irradiancia solar por metro cuadrado en el plano de la matriz, a una temperatura de matriz de 25 ° C. La potencia máxima debe introducirse en kilovatios-pico (kWp).
- **Pérdida del sistema:** son todas las pérdidas en el sistema, que hacen que la potencia realmente entregada a la red eléctrica sea menor que la potencia producida por los módulos fotovoltaicos. Hay varias causas para esta pérdida, como pérdidas en cables, inversores de potencia, suciedad (a veces nieve) en los módulos, etc.

Mediante este software, se puede estimar parámetros esenciales como la potencia fotovoltaica máxima instalada, las pérdidas del sistema, el consumo por día y la capacidad de almacenamiento de las baterías. Con todo ello, se obtendrá valores de rendimiento de nuestro sistema muy próximos a la realidad.

Rendimiento de la energía fotovoltaica conectada a la red eléctrica

El primer caso de análisis consiste en obtener los parámetros principales de nuestra instalación fotovoltaica suponiendo que está conectada a la red. De manera análoga a los estudios realizados sobre los datos de irradiación, el programa nos exige indicar la ubicación de la instalación y la base de datos de radiación solar, además de otros parámetros correspondientes a los paneles solares. En la siguiente tabla, se incluyen los valores de interés:

Latitud	38.80911
Longitud	-0.011815
Tecnología FV	Silicio cristalino
Inclinación [°]	40
Acimut [°]	0
Potencia FV pico instalada [kWp]	100
Pérdida del sistema [%]	14

Tabla 3.10: Parámetros para obtener el rendimiento de una instalación solar conectada a la red.

Como bien se indica en la Tabla 3.21, el material que compone a los paneles solares será el silicio cristalina, debido a que es el más comercial y el que presenta una mejor relación calidad/precio. En cuanto a la potencia fotovoltaica pico instalada será de 100 kWp.

A continuación , se muestra los resultados gráficos y numéricos que ayudan a obtener unos valores estimados de lo que va a generar los paneles solares.

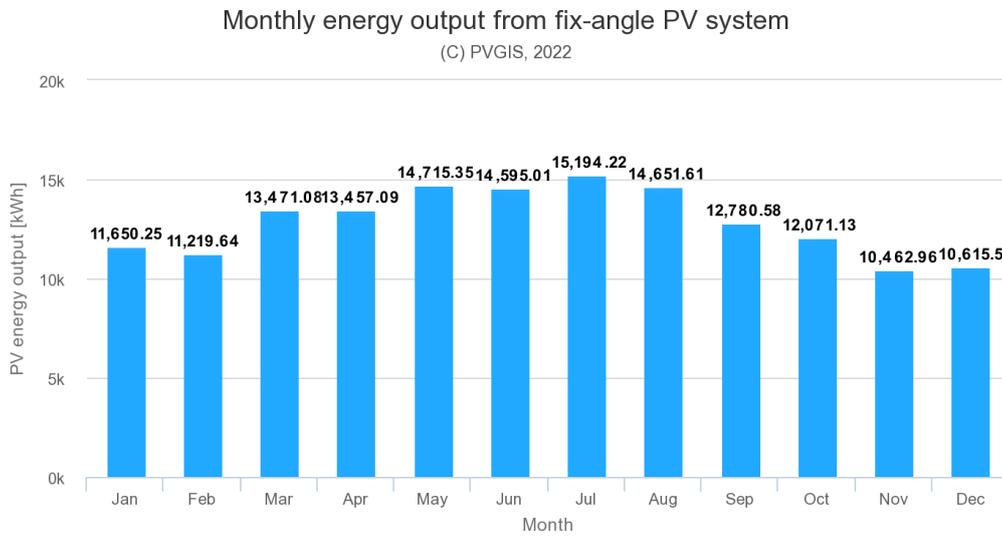


Figura 3.14: Producción mensual de energía del sistema fotovoltaico de ángulo fijo 40° entre los años 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).

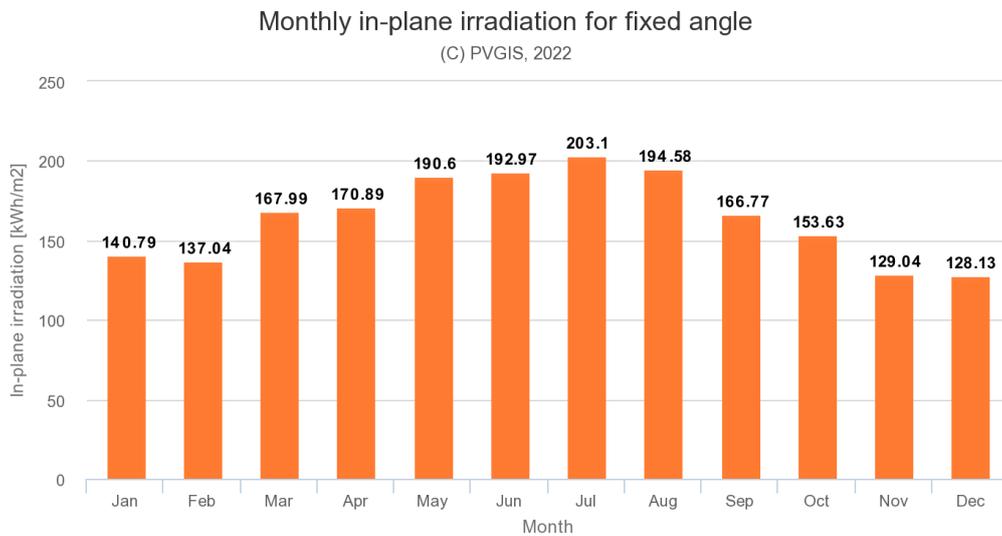


Figura 3.15: Irradiación mensual de energía del sistema fotovoltaico de ángulo fijo 40° entre los años 2005 y 2020 (Fuente: PVGIS).

Mes	Producción media diaria de energía del sistema [kWh/día]	Producción media mensual de energía del sistema [kWh/mes]	Suma media diaria de irradiación global recibida por los módulos del sistema [kWh/m ² /día]	Suma media mensual de irradiación global recibida por los módulos del sistema [kWh/m ² /mes]	estándar mensual de la energía debida a la variación
Enero	375,81	11650,25	4,54	140,79	1772,2
Febrero	400,7	11219,64	4,89	137,04	1719,37
Marzo	434,55	13471,08	5,42	167,99	1657,02
Abril	448,57	13457,09	5,7	170,89	1237,23
Mayo	474,69	14715,35	6,15	190,6	1406,38
Junio	486,5	14595,01	6,43	192,97	627,98
Julio	490,14	15194,22	6,55	203,1	671,23
Agosto	472,63	14651,61	6,28	194,58	666,77
Septiembre	426,02	12780,58	5,56	166,77	1083
Octubre	389,39	12071,13	4,96	153,63	1517,29
Noviembre	348,77	10462,96	4,3	129,04	1542,59
Diciembre	342,44	10615,5	4,13	128,13	1134,61
Media anual	424,34	12907,04	5,41	164,63	498,94

Figura 3.16: Valores de producción de energía e irradiación solar del sistema de paneles fotovoltaicos (Fuente: PVGIS).

A modo de resumen, se obtiene unos valores de producción media diaria y mensual de 424.44 kWh/día y 12907.04 kWh/mes respectivamente, destacando como meses de mayor productividad junio y julio como se comentó en apartados anteriores. Además, la irradiación solar diaria es de 5.41 kWh/m²/día, lo que supone 164.63 kWh/m²/mes de irradiación solar mensual.

Finalmente, se muestra una tabla con valores referidos a pérdidas del sistema, las cuales tienen su importancia y deben tenerse en cuenta.

Pérdidas AOI [%]	Efectos espectrales [%]	Pérdidas por temperatura y baja radiación	Pérdidas combinadas [%]
-2,61	0,69	-7,04	-21,60

Tabla 3.11: Pérdidas del sistema fotovoltaico.

Las pérdidas AOI hacen referencia a las pérdidas debidas al ángulo de incidencia en el panel, y junto al resto de pérdidas, hacen un total del -21.6 %

Rendimiento del sistema fotovoltaico fuera de la red

El segundo caso de análisis es el correspondiente a una instalación fotovoltaica sin conexión a red, es decir, autónoma. Esta sección es muy interesante, ya que permite dimensionar la capacidad de la batería tras indicar la potencia fotovoltaica máxima instalada y el consumo diario. Además, al considerar que la tecnología que se va a utilizar de litio, se establece como valor el 20 %.

Latitud	38.80911
Longitud	-0.011815
Potencia fotovoltaica máxima [kWp]	100
Capacidad de la batería [kW]	180
Límite de corte de carga [%]	20
Consumo por día [kWh]	300

Tabla 3.12: Parámetros para obtener el rendimiento de una instalación solar sin conexión a la red.

A continuación, se muestra los resultados gráficos y numéricos de la instalación solar dimensionada. La tabla 3.13 muestra los parámetros estimados por PVGIS sobre el estado de la batería y valores sobre la captación o no de energía. Puesto que el porcentaje de días con la batería llena y vacía es elevado, se consigue cargar y descargar la batería por completo, lo cual es un punto beneficioso al estar usando toda la capacidad de mi batería. Sin embargo, la instalación es incapaz de capturar 176894.59 Wh, lo cual es un punto negativo, aunque no muy grave si se aprecia desde los valores generales de la instalación.

Porcentaje de días con la batería llena [%]	82.09
Porcentaje de días con la batería vacía [%]	99.98
Energía media no capturada [Wh]	176894.59
Energía media que falta [Wh]	75887.15

Tabla 3.13: Parámetros obtenidos de la simulación de la herramienta PVGIS para una instalación solar sin conexión a la red.

La primera gráfica muestra la energía no capturada y la producción energética en función de los meses de los años 2005 a 2020. Se estudia que la instalación fotovoltaica es capaz de producir energía por encima de la energía no capturada. Tras realizar varias simulaciones, esta solución es la más aceptable para el funcionamiento de los paneles solares.

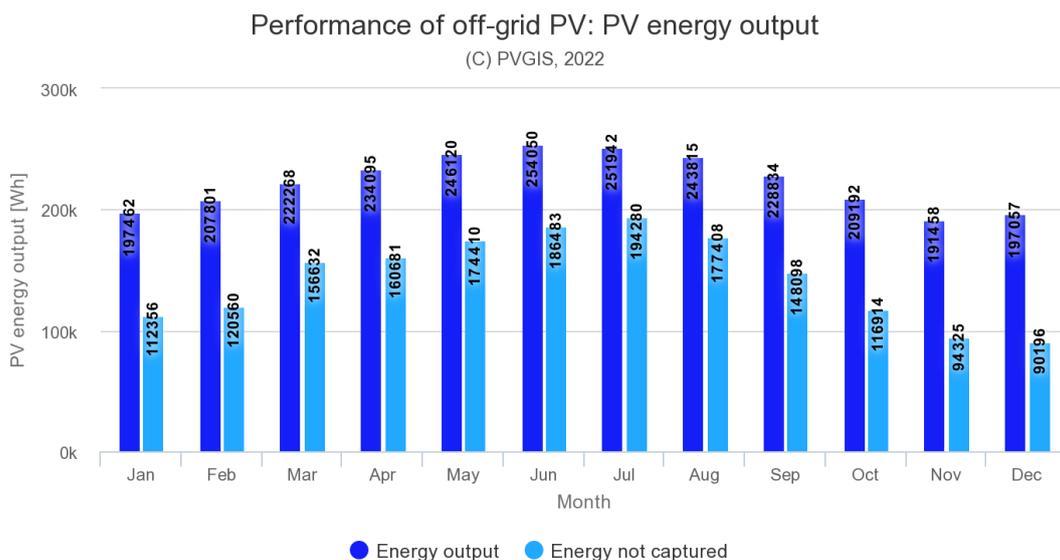


Figura 3.17: Producción estimada para un sistema FV autónomo (Fuente: PVGIS).

La segunda y tercera gráfica muestran valores referidos a las baterías. En primer lugar, se grafica lo comentado anteriormente sobre el porcentaje en el que las baterías están llenas o vacías para cada mes. Como es evidente, durante los meses de más irradiación, las baterías podrán llenarse más, mientras que durante el invierno no será posible alcanzar dichos niveles, aunque siguen siendo correctos para realizar la función de las baterías. En segundo lugar, se expone la probabilidad del estado de carga de la batería al final del día. Mediante este dimensionado, se podrá tener las baterías llena un 26 % de los días.

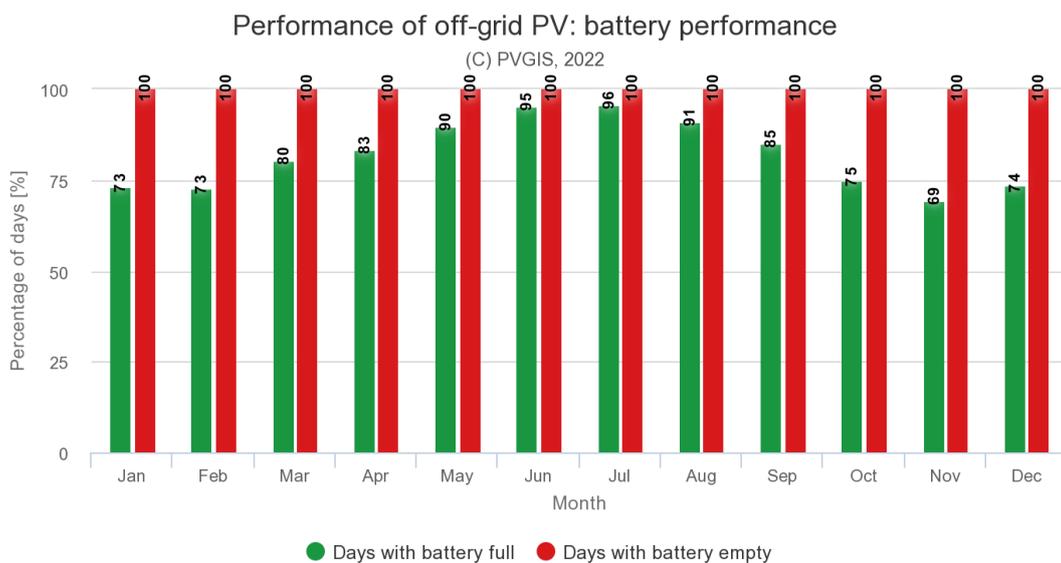


Figura 3.18: Rendimiento de la batería para un sistema FV autónomo (Fuente: PVGIS).

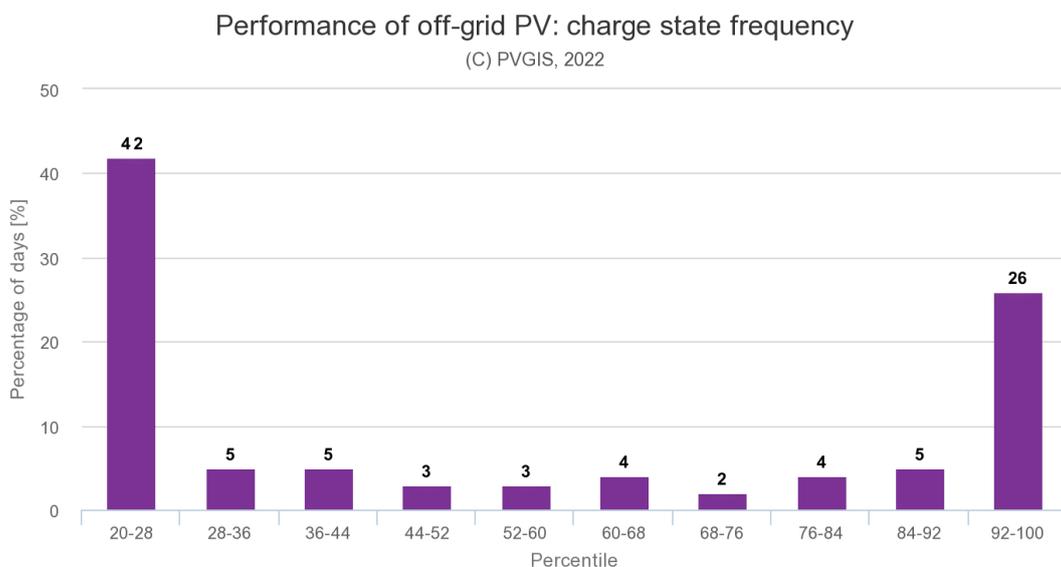


Figura 3.19: Probabilidad del estado de carga de la batería al final del día (Fuente: PVGIS).

3.1.6. Cálculos teóricos sobre los paneles solares.

Elección de los elementos comerciales de la instalación fotovoltaica

En este apartado, se selecciona los diferentes elementos de la instalación fotovoltaica del aeródromo de extinción de incendios.

En primer lugar, el módulo elegido es de la marca *Canadian Solar*, y en concreto *Hiku* de 340 W de potencia pico [26]. Esta se caracterizado por generar un 26 % más de potencia que los módulos convencionales, tener un coste ligeramente inferior del sistema y mejor tolerancia al sombreado. Asimismo, es mas fiable, ya que tiene una menor corriente interna, menor temperatura del punto caliente y minimiza el impacto de las microfisuras.

A continuación, se muestra todas sus características en la siguientes tablas, y sus aspecto y dimensiones en la figura 3.21. Mirar Anexo C y D para ver su ficha técnica.

Potencia nominal máxima (Pmax)	370 W
Tensión de funcionamiento operacional (Vmp)	34,1 V
Corriente de funcionamiento operacional (Imp)	10,86 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	40,80 V
Tensión de cortocircuito (Isc)	11,54 A
Eficiencia del módulo	20 %
Temperatura de funcionamiento	-40 a +85 °C

Tabla 3.14: Datos eléctricos del módulo.

Tipo de célula	Monocristalina
Disposición de la célula	120 [2X(10X6)]
Dimensiones	1765 X 1048 X 40 mm
Peso	21,1 kg
Cubierta frontal	3,12 mm de cristal templado
Marco	Aleación de aluminio anodizada

Tabla 3.15: Datos mecánicos del módulo.

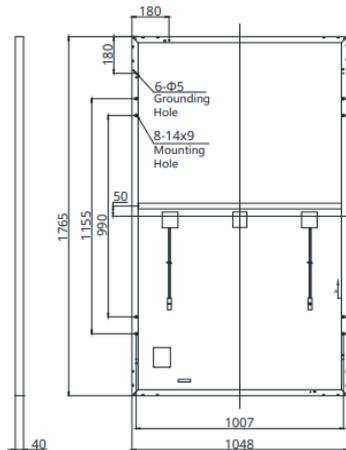


Figura 3.20: Dimensiones y aspecto de la estructura del módulo seleccionado (Fuente: Clima-solar).

En segundo lugar, el inversor seleccionado es de la marca *Fronius* y modelo *Fronius Tauro Eco Version standard* de 100 W [27]. Entre sus principales características, posee flexibilidad de diseño del sistema, con máximo desempeño hasta temperaturas de 50 °C, optimiza costos, posee refrigeración activa de pared doble y reemplazo de etapas de potencia.

A continuación, se muestra a modo de tabla resumen los parámetros técnicos más importantes (para ver todas sus características Anexo E-H):

Datos de entrada	
Máx. corriente de entrada ($I_{dc\ máx}$)	175 A
Rango de tensión de entrada ($U_{dc\ mín} - U_{dc\ máx}$)	580 - 1000 V
Tensión de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)	650 V
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ mín} - U_{mpp\ máx}$)	580 - 930 V
Máx. salida del generador FV ($P_{dc\ máx}$)	150 kWp

Datos de salida	
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	100 kW
Máx. potencia de salida	100000 VA
Máx. corriente de salida ($I_{ac\ nom}$)	152 A

Tabla 3.16: Datos técnicos del inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D.

Datos generales	
Dimensiones	755 x 1109 x 346 mm
Peso	103 kg
Refrigeración	Sistema de refrigeración activa y doble pared
Margen de temperatura ambiente	-40 hasta + 65 °C
Máxima eficiencia	98,5 %

Tabla 3.17: Datos generales del inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D.



Figura 3.21: Inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D (Fuente: Autosolar).

En tercer lugar, el soporte es un elemento esencial para la correcta instalación de los paneles fotovoltaicos [28]. Puesto que se necesita una inclinación de 40° y que sujeten dos paneles juntos, se opta por utilizar el soporte que venden en *tutiendaenergética*. Esta se compone de una estructura de aluminio de 2 triángulos verticales a los que se unen 2 railes horizontales mediante unas escuadras, y realiza una sujeción óptima entre la superficie y los módulos a una inclinación de 40° . Este soporte tiene diferentes estructuras, y se escoge el que admite dimensiones de módulo $2000 \times 1000 \times (35,40,45,50)$ o similares.

En cuarto y último lugar, las baterías serán de gran importancia para el funcionamiento del aeródromo durante las horas nocturnas. Como se estimó con PVGIS, se necesita unas baterías con capacidad de almacenamiento de 180 kWh [29]. Por ello, se utilizan cuatro baterías solares de 1000 Ah (para conseguir 4000 Ah necesarios) OPZs transparente de 12 V compuesta por 6 vasos solares. Las OPZ son las más utilizadas en aplicaciones solares a grande escala y tienen una larga vida útil, al igual que pueden proporcionar grandes cantidades de energía. En cuanto a la dimensión y peso de una batería es de $21 \times 23,3 \times 71,1$ cm y 480 kg respectivamente.

Configuración y dimensionamiento de la instalación

Puesto que la instalación fotovoltaica del aeródromo va a ser de autoconsumo, solo se va a generar y utilizar la energía necesaria y calculada con PVGIS anteriormente en el apartado 3.1.5. Además, como sabemos los elementos comerciales que van a componer la instalación, se puede obtener parámetros de utilidad acerca del número de paneles y otros sobre la configuración del campo, al igual que las dimensiones correspondientes.

Número de módulos en serie

Para el cálculo del número de módulos en serie, se puede lograr un rango de valores mínimo y máximo para alcanzar la potencia requerida. Para el cálculo del valor mínimo en serie se utiliza la siguiente expresión:

$$N_{min} = \frac{V_{MP}}{V_{MP}(t_{max})} = \frac{580V}{34,1V} \approx 17 \quad (3.1)$$

Siendo V_{MP} la tensión mínima de entrada del inversor y $V_{MP}(t_{max})$ la tensión mínima en el punto de funcionamiento a temperatura máxima.

Para el cálculo del valor máximo en serie se utiliza la siguiente expresión:

$$N_{max} = \frac{V_{max}}{V_{CA}} = \frac{1000V}{40,8V} \approx 25 \quad (3.2)$$

Siendo V_{max} la tensión máxima de entrada del inversor y V_{CA} la tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico.

Así, se concluye que el rango debe estar entre 17 y 25 módulos fotovoltaicos conectados en serie. Según los módulos máximos en paralelo, se hará un estudio de la potencia para saber cual es la configuración más adecuada para la potencia que se desea.

Número de módulos en paralelo

Para saber la configuración que tendrá nuestra instalación, se ha de saber el número máximo de paneles fotovoltaicos en paralelo. Para ello, se utiliza la siguiente expresión:

$$N_{paralelo} = \frac{I_{max}}{I_{mp}} = \frac{175A}{10,86A} \approx 16 \quad (3.3)$$

Siendo I_{max} la máxima corriente de entrada en el inversor y I_{mp} la corriente de funcionamiento operacional.

Mediante el cálculo de la potencia para las diferentes configuraciones posibles, se concluye que utilizando 16 módulos en paralelo y 17 en serie se logra obtener la potencia necesaria de 100 kW. Esta potencia se obtiene de la siguiente expresión:

$$P(W) = Serie \cdot Paralelo \cdot P_{nominal_{max}} \quad (3.4)$$

		En paralelo						
		10	11	12	13	14	15	16
En serie	17	62900	69190	75480	81770	88060	94350	100640
	18	66600	73260	79920	86580	93240	99900	106560
	19	70300	77330	84360	91390	98420	105450	112480
	20	74000	81400	88800	96200	103600	111000	118400
	21	77700	85470	93240	101010	108780	116550	124320
	22	81400	89540	97680	105820	113960	122100	130240
	23	85100	93610	102120	110630	119140	127650	136160
	24	88800	97680	106560	115440	124320	133200	142080
	25	92500	101750	111000	120250	129500	138750	148000
	26	96200	105820	115440	125060	134680	144300	153920

Tabla 3.18: Potencia de la instalación según la configuración de módulos.

Potencia del inversor

En cuanto a la potencia del inversor, se calcula mediante la potencia nominal máxima del módulo de 340 W. Se obtiene un rango de potencia, tal que:

$$0,7 \cdot P < P_{inversor} < 1,2 \cdot P \quad (3.5)$$

Entonces, realizando el calculo de la potencia del inversor, esta se encontrará en un rango de 238 W y 408 W.

Superficie necesaria y disponible para la instalación fotovoltaica

Según el estudio realizado por Mueller [30], se estimo que una planta fotovoltaica de 1MW ocupaba aproximadamente 9290,30 metros cuadrados. Entonces, puesto que nuestra planta tiene un consumo de 0,3 MW, la superficie necesaria será 2787,09 metros cuadrados.

Si se analiza el terreno libre que hay cercano al aeródromo se puede ubicar la planta solar en la zona indicada en la figura 3.22.

Si se observa el terreno libre y ubicación de la pista (Figura 2.5), se sitúa la planta fotovoltaica en un terreno cercano a las instalaciones del aeródromo, teniendo en cuenta las dificultades que se pueden dar como deslumbramiento en el aterrizaje, caídas de tensión por gran distancia de la planta o sombreados. Se recuerda que la configuración de los módulos son 16 en paralelo y 17 en serie, por lo que teniendo en cuenta las dimensiones y la distancia entre módulos se selecciona en la figura 3.23 la ubicación exacta (Lat: 38,807467, Lon:-0,012375) con un terreno en forma rectangular y orientación este, ya que es por donde sale el sol.

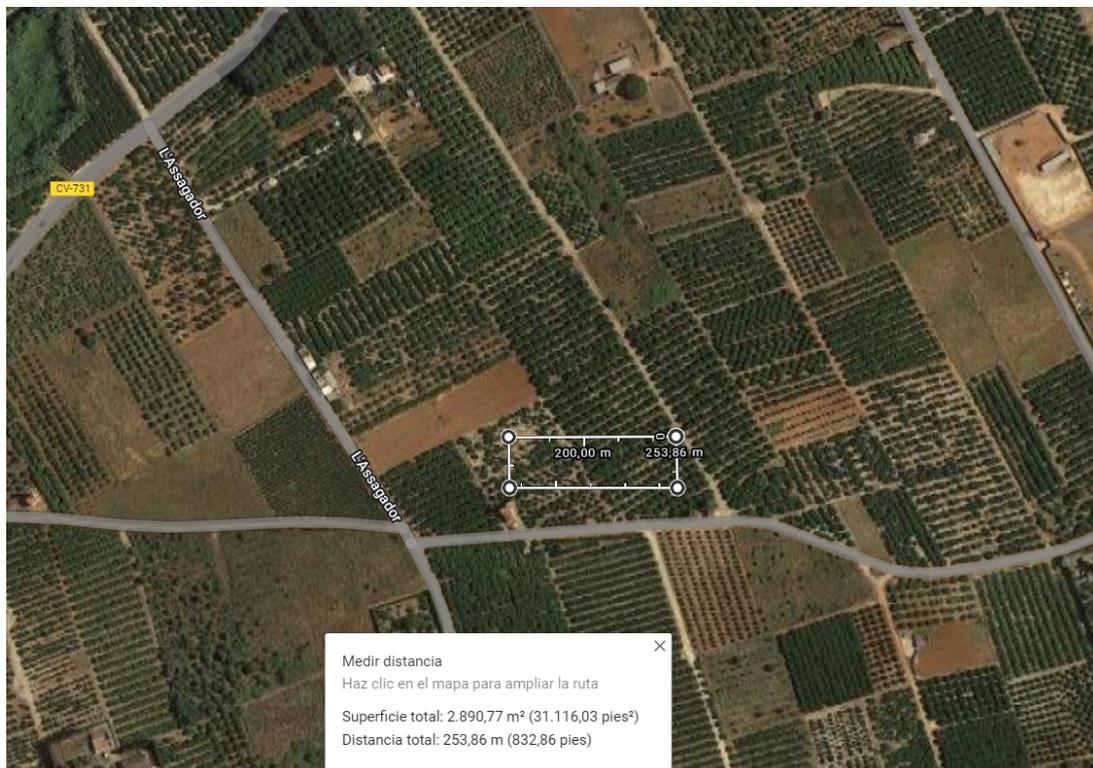


Figura 3.22: Localización de la planta fotovoltaica del aeródromo (Fuente: Google Maps).

Dimensionamiento de la planta fotovoltaica

Una vez seleccionada la localización del terreno, el número de módulos y los elementos que van a componer la instalación, se dispone a dimensionar la planta fotovoltaica [22]. Como se ha comentado anteriormente, es importante que los módulos solares no generen sombras entre ellas. Esto se evita mediante el cálculo de la distancia mínima entre las filas de los paneles:

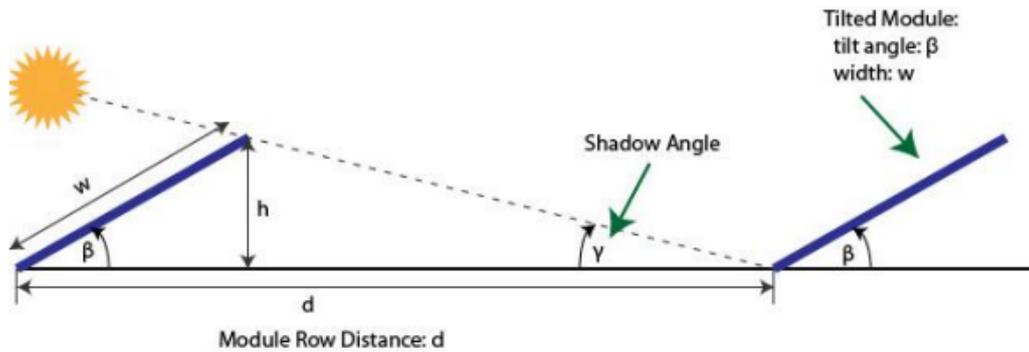


Figura 3.23: Distancia entre módulos (Fuente: ACADEMIA DE ENERGÍA SOLAR).

Así, con las dimensiones de la tabla 3.15, la inclinación β de 40° y las siguientes expresiones:

$$d1 = \cos \beta \cdot w = \cos 40^\circ \cdot 1,765m = 1,352metros \quad (3.6)$$

$$h = \sin \beta \cdot w = \sin 40^\circ \cdot 1,765m = 1,134metros \quad (3.7)$$

$$\gamma = 61^\circ - \textit{latitud} = 61^\circ - 38,807467^\circ = 22,2^\circ \quad (3.8)$$

$$d2 = \frac{h}{\tan(\gamma)} = \frac{1,134m}{\tan(22,2^\circ)} = 2,77metros \quad (3.9)$$

$$d = d1 + d2 = 3,91metros \quad (3.10)$$

Se obtiene:

Proyección del panel sobre la horizontal (d1)	1,35 m
Altura del panel (h)	1,13 m
Ángulo de altura solar (γ)	22,2 °
Distancia desde el final de la proyección hasta la siguiente fila (d2)	2,77 m
Distancia total	3,91 metros

Tabla 3.19: Parámetros de dimesionamiento de los módulos fotovoltaicos.

Finalmente, con estos valores se puede realizar un cálculo estimado de la longitud de los módulos en serie y paralelo. Suponiendo un separación entre módulos de 0,1 metros, un ancho de 1,048 metros (ficha técnica) y 17 módulos en serie se obtiene la longitud de fila:

$$Long_{fila} = 0,1 \cdot (N_{serie} - 1) + 1,048 \cdot N_{serie} = 19,42metros \quad (3.11)$$

Mientras que para obtener la longitud entre columnas se tiene en cuenta la distancia total anteriormente calculada, la longitud de la placa a 40 grados y 16 módulos en paralelo. Así:

$$Long_{colum} = 3,91 \cdot (N_{paralelo} - 1) + 1,35 \cdot N_{paralelo} = 80,25metros \quad (3.12)$$

De esta manera, se consigue dimensionar una instalación fotovoltaica de 272 módulos totales capaz de producir una potencia de 100 kW para el consumo diario del aeródromo. Asimismo, la planta fotovoltaica se localiza en las proximidades del aeródromo, lo cual facilita las conexiones eléctricas.

3.1.7. Presupuesto de la instalación solar

A continuación, se muestra en la siguiente tabla el presupuesto aproximado necesario para realizar la instalación solar dimensionada y creada en los apartados anteriores para la generación de electricidad en el aeródromo de extinción de incendios.

Descripción	Cantidad	Precio	Importe
Terreno	2890,77 m ²	15 €/m ²	43361,55 €
Panel solar Hiku 370 W	272 unidades	195,27 €	53114,16 €
Inversor Fronius Tauro Eco 100-3-D	1 unidades	9642,33 €	9642,33 €
Soporte con inclinación de 40°	272 unidades	135,83 €	36945,76 €
Baterías OPZS	4 unidades	3078,00 €	12312,00 €
Total			155375,8 €

Tabla 3.20: Presupuesto de la instalación solar.

Como se puede observar, el presupuesto total necesario para la instalación solar completa es de 155.375,80 €.

3.2. Energía eólica

La energía eólica es una energía renovable que utiliza el recurso inagotable del viento en electricidad mediante la instalación de parques eólicos o aerogeneradores independientes según el objetivo. Entonces, mediante la fuerza del viento y los aerogeneradores se transforma energía cinética de las corrientes de aire en energía eléctrica. El proceso de extracción se realiza principalmente gracias al rotor, que transforma la energía cinética en energía mecánica, y al generador, que transforma dicha energía mecánica en eléctrica [31].

El viento directamente tiene relación con la radiación solar, puesto que se genera a partir de ella. La radiación incide de manera diferente en la superficie terrestre, por lo cual hay zonas que son más calentadas que otras. De esta manera, en dichas zonas el aire, que pesa menos,

tiende a ascender generando áreas de bajas presiones, mientras que en las zonas más frías el aire asciende y pesa más creando áreas de altas presiones. Así, mediante la diferencia de presiones el aire se mueve y da origen al viento [31].

Como se mostró en la figuras 1.2 y 1.3, la energía eólica es una de las energías renovables más importantes y utilizadas a nivel mundial y en España (contribuyendo hasta un 22,1 % del 39 % de las renovables). Esto es debido a que es una fuente de energía renovable que procede del viento y contribuye a reducir la emisión de CO₂ a la atmósfera, tiene un bajo impacto ambiental, autóctona y contribuye al desarrollo sostenible.

A continuación, se muestra la evolución creciente de instalaciones eólicas en Europa y en el mundo. Se aprecia una gran apuesta por esta energía renovable en los últimos años de manera significativa, logrando 205 GW de capacidad eólica instalada en Europa y 651 GW en todo el mundo.

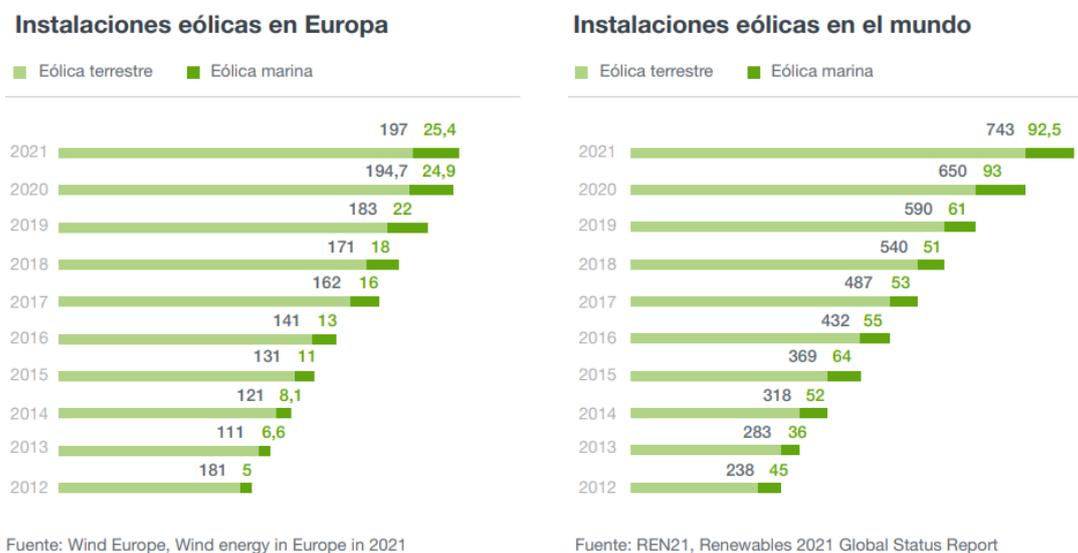


Figura 3.24: Instalaciones eólica en Europa y el mundo (Fuente: Iberdrola).

3.2.1. Evolución histórica de la energía eólica

El recurso natural del viento ha sido utilizado a lo largo de los siglos para un gran variedad de funciones, tales como propulsar los barcos de vela, bombear agua en China durante los años 200 a.C y moler grano mediante molinos de viento de eje vertical con velas tejidas de caña en Persia y Medio Oriente. Son estos últimos quienes a principios del siglo XIX, llevaron la idea de los molinos de vientos a Europa, y en concreto a los Países Bajos para que adaptaran el molino de viento para drenar lagos y pantanos en el delta del río Rin [32].

Asimismo, con la emigración desde Europa a Norteamérica a finales del siglo XVIII y principios del XIX, se comenzó a utilizar los molinos de viento no solo para bombear aguas en ranchos, sino también para generar electricidad en los hogares e industrias. Debido a su gran utilidad, se produjeron avances significativos como el molino multipala americano, el cual fue utilizado para el bombeo de agua en todo el mundo. Dicho molino sería de gran utilidad para el diseño de los generadores eólicos actuales [32].

En 1887, el científico estadounidense Charles F. Brush construyó la primera turbina eólica destinada a la generación de electricidad (Figura 3.25). Esta turbina se componía de un rotor de 17

metros de diámetro y 144 palas de rotor de madera de cedro, y funcionó durante 20 años. Aunque la potencia del generador era 12 kW y no ser muy eficiente, supuso el inicio de la energía eólica.

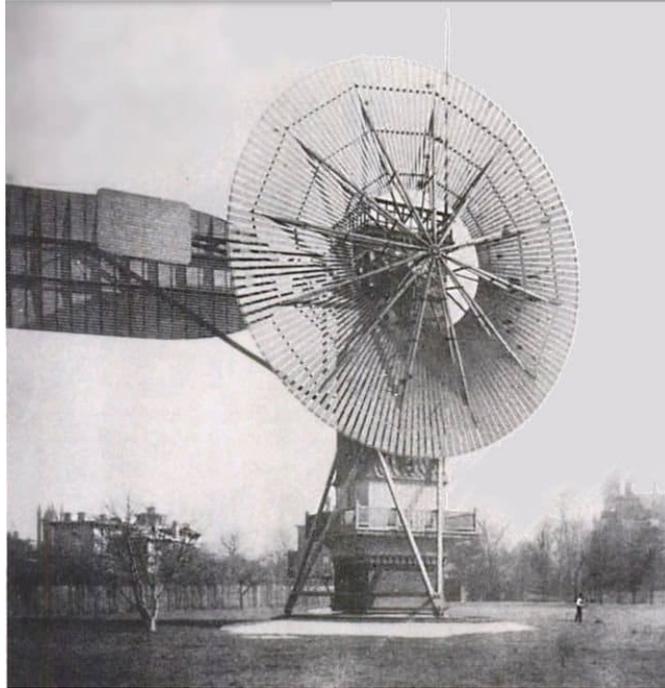


Figura 3.25: Primera turbina eólica de Charles F. Brush (Fuente: Danish Wind Industry Association).

Años más tarde, el científico danés Poul la Cour descubrió que las turbinas con pocas palas de rotor eran más eficientes para la producción eléctrica al conseguir velocidades de rotación mayores. Así, en 1899 diseñó el primer generador eólico moderno. En la segunda década del siglo XX, el físico alemán Albert Betz enunció una ley para el máximo aprovechamiento de la energía del viento para generar electricidad [32].

En Europa, el mayor desarrollo de la energía eólica se ubicó en Dinamarca durante el primer cuarto del siglo XX, donde se construyó un modelo descentralizado de electrificación en el país con 72 generadores eólicos con potencias entre 5 kW y 25 kW en 1908, lo cual suponía el 3 % de su energía. Por otro lado, en Estados Unidos no se desarrolló la energía eólica hasta 1941 cuando se instaló en Castleton (Vermont, EEUU) la primera turbina de una potencia 1.25 MW diseñada por el científico Palmer Cosslett Putnam y fabricada por la empresa S. Morgan Smith.

En cuanto a cifras, entre 1990 y 2018 se han generado 1.273.409 gigavatios (GW) de electricidad gracias a la energía eólica. Se ha apostado por la energía eólica como energía renovable para generar electricidad por parte de países como China, Estados Unidos, Alemania y la India, y esto ha hecho que una mayor inversión se realice para la mejora de la capacidad y características de las turbinas eólicas.

3.2.2. Clasificación de la energía eólica

Principalmente, existen dos tipos de energía eólica según se genere la electricidad [31] [33]:

- **Energía eólica terrestre:** se produce energía eléctrica aprovechando el recurso del viento mediante parques eólicos en tierra compuestos de aerogeneradores de gran potencia conectados a la red eléctrica que son capaces de transformar la energía cinética del viento en eléctrica. Dentro de esta clasificación se destaca también la energía minieólica destinada a uso doméstico de potencias inferiores a 100 kW. Como se aprecia en la figura 3.24, hay una clara diferencia en cuanto a tendencia a utilizar las instalaciones eólicas terrestres frente a la marina tanto en Europa como en todo el mundo.



Figura 3.26: Instalación eólica terrestre (Fuente: Repsol).

- **Energía eólica marina:** se obtiene energía al aprovechar la fuerza del viento que se produce en alta mar. Debido a ello, se registran mayores velocidades y más constantes que en tierra ante la ausencia de obstáculos.



Figura 3.27: Instalación eólica marina (Fuente: Repsol).

3.2.3. Principales componentes de un aerogenerador

El elemento que permite aprovechar el viento como recurso renovable son los aerogeneradores. Estos son generadores eléctricos que funcionan convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice en energía eléctrica gracias a un alternador.

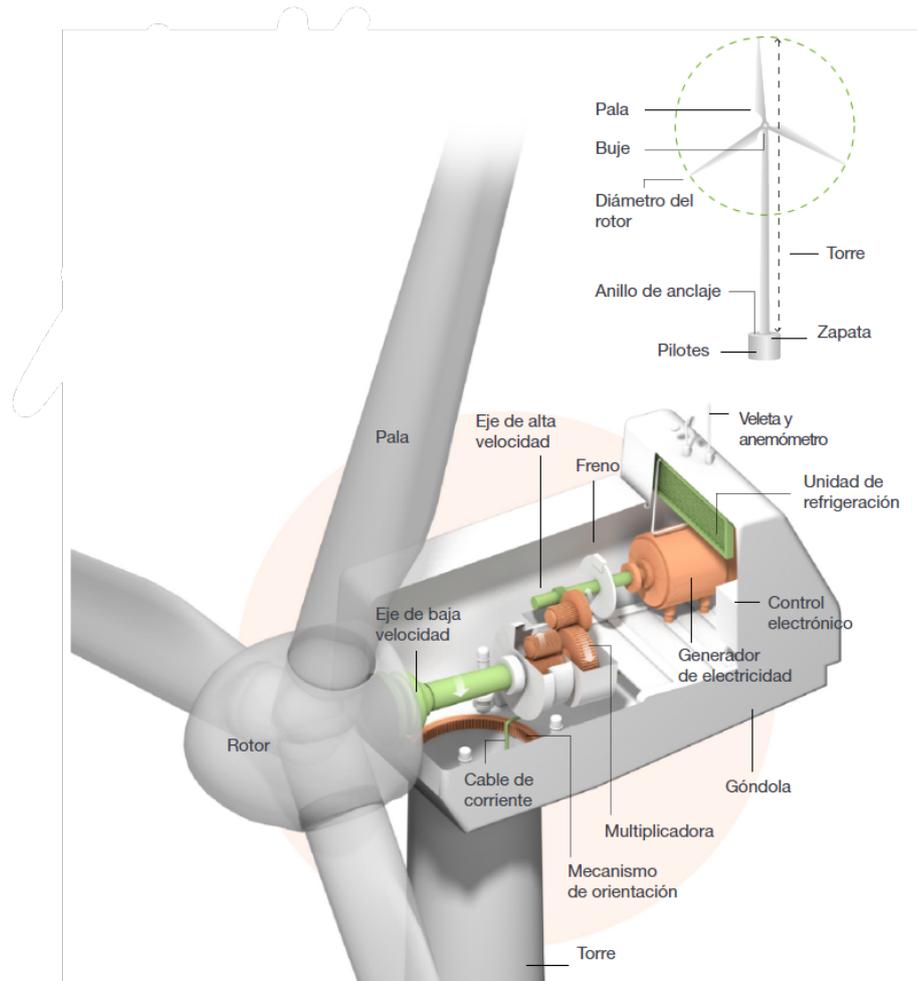


Figura 3.28: Partes de un aerogenerador (Fuente: Iberdrola).

Como se puede apreciar en la figura anterior, se distinguen las siguientes partes [34]:

- **Rotor:** es la parte que transforma la energía procedente de la fuerza del viento en energía mecánica.
- **Multiplicadora:** conjunto de engranajes que transforman la baja velocidad a la que gira el eje del rotor (entre 14 y 30 vueltas por minuto) a una velocidad más elevada, que se comunica al eje que hace girar el generador.
- **Generador de electricidad:** transforma la energía mecánica procedente del rotor en energía eléctrica. Esta es volcada a la red eléctrica o centro de consumo.
- **Góndola:** conjunto formado por bastidor y carcasa del aerogenerador. El bastidor es una pieza sobre la que se acoplan los elementos mecánicos principales (el rotor, el multiplicador, el generador) del aerogenerador y que está situada sobre la torre. Este bastidor está protegido por una carcasa, generalmente de fibra de vidrio y poliéster, reforzada con perfiles de acero inoxidable.
- **Palas:** son los elementos encargados de captar la energía cinética del viento y de gran importancia, ya que según sus dimensiones y características se conseguirá un mejor aprovechamiento de la energía. Aumentando el diámetro de las palas, se puede aumentar la superficie de captación de viento y la potencia proporcionada por la máquina.

- **Buje:** elemento de unión entre las palas y el sistema de rotación, ya que este está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.
- **Torre:** parte de la estructura que soporta el rotor y la góndola. Cuanta más alta sea la torre mayor cantidad de energía podrá obtenerse, ya que la velocidad del viento aumenta con la altura respecto al nivel del suelo.
- **Eje de baja velocidad y alta velocidad:** son ejes encargados de conectar el buje del rotor con la multiplicadora y transmitir la energía captada por las palas, y el accionamiento del generador eléctrico respectivamente.
- **Mecanismo de orientación:** sistema que permite orientar el rotor de forma que quede colocado de forma perpendicular a la dirección del viento y así presente siempre la mayor superficie de captación.
- **Veleta:** instrumento que se utiliza para medir la dirección del viento.
- **Anemómetro:** medidor que forma parte del aerogenerador para medir la velocidad del viento.

3.2.4. Tipos de aerogeneradores

Se destacan dos tipos de aerogeneradores [35]:

- **Aerogeneradores de eje horizontal:** se sitúan paralelos al viento, con una orientación previa para la óptima incidencia del viento en las palas y haga girar el eje. Son los más utilizados y se clasifican en aerogeneradores de baja o media potencia (0 a 50 kW) y de alta potencia (más de 50 Kw).
- **Aerogeneradores de eje vertical:** está en continua evolución y desarrollo, pero ya se están convirtiendo en seria alternativa para el futuro. No necesita orientación y ofrecen menos resistencia al viento. En cuanto a su funcionamiento, el viento incide sobre las palas y lo hace girar, transmitiendo este movimiento al generador a través de un multiplicador de velocidad.

3.2.5. Funcionamiento de los aerogeneradores

El funcionamiento de los aerogeneradores se resume en aprovechar la energía cinética procedente de la fuerza del viento para transformarla en energía eléctrica mediante los aerogeneradores [31]. No obstante, es esencial estudiar las condiciones del lugar y realizar un estudio de optimización para implantar parques eólicos capaces de obtener grandes cantidades de energía.

Además, estos aerogeneradores deben ser orientados en la dirección de viento mediante la obtención de la rosa de los vientos que nos aporta la dirección e intensidad de los vientos en la zona seleccionada.

En cuanto a la elección del aerogenerador, es importante conocer el objetivo y necesidades de la instalación para elegir el más idóneo acorde a las características técnicas. Estas características son el diámetro de pala, el peso, las dimensiones de la estructura, la potencia, la velocidad nominal de rotación, inicio de rotación y corte de producción. Estas dos últimas son de gran

impotancia para saber los límites en los que funciona los aerogeneradores.

3.2.6. Cálculos teóricos sobre la energía eólica

En primer lugar, se realiza una introducción teórica de como obtener la energía producida por un aerogenerador [36]. Esta servirá para adentrarse en cálculos reales de los aerogeneradores en la zona donde se realiza la instalación de los aerogeneradores.

La energía por unidad de tiempo o potencia del viento se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$P_v = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \quad (3.13)$$

Siendo A el área barrida por las palas del aerogenerador ($A=\pi \cdot R^2$), ρ es la densidad del aire a nivel del mar y temperatura de 15 °C con valor 1.225 kg/m³, y V es la velocidad del viento.

Para obtener las medidas de las velocidades del viento, se calcula el valor medio de la potencia P_v directamente de las medidas de la velocidad del viento o de las tabla de velocidades y frecuencias.

$$\langle P \rangle = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N V^3 = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^N f_j \cdot V^3 \quad (3.14)$$

Puesto que es complicado obtener medidas del viento y establecer conclusiones de ellas, se utiliza los modelos estadísticos que describen las velocidades y frecuencias mediante una función continua $f(x)$ o también conocida como la función de distribución de Weibull. Si esta se ajusta a los datos del viento, la potencia será similar a la calculada directamente si se tuviera los datos de las velocidades de los vientos.

$$\langle P_v \rangle = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_0^{\infty} V^3 \cdot f(x) dx = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \langle V \rangle^3 \cdot \frac{\Gamma(1 + 3/k)}{\Gamma^3(1 + 1/k)} \quad (3.15)$$

Otra manera estadística es la función de distribución de Rayleigh, cuya expresión de potencia es la siguiente:

$$\langle P_v \rangle = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_0^{\infty} V^3 \cdot f(x) dx = A \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{6 \langle V \rangle^3}{\pi} \right) \quad (3.16)$$

Una vez realizada la introducción teórica, se procede a obtener los valores que permitan obtener conclusiones sobre la aplicación de las instalaciones eólicas. Para ello, se decide la ubicación de la instalación eólica. Como se ha comentado anteriormente, es de suma importancia que la zona este libre de obstáculos que perjudiquen la optimización de las condiciones de los aerogeneradores. Asimismo, debe estar cerca del aeródromo para evitar problemas de transporte de electricidad entre zonas.

Mediante una aplicación de Enair Energy, se obtiene los datos para calcular la velocidad media de la zona para saber la producción eólica. En la siguiente tabla, se resume los parámetros principales para realizar el estudio: 38.805815, -0.010841

Latitud	38.805815
Longitud	-0.010841
Altura [m]	62.3
densidad del aire	105.75 %

Tabla 3.21: Parámetros para obtener la estimación de producción eólica.

A continuación, se engloba todo el estudio de la instalación eólica.

Datos sobre los vientos y potencia generada en la zona seleccionada

Mediante los datos de vientos, se puede obtener la producción eólica de los aerogeneradores. Así, se hace uso de tres bases de datos (PROPIA, DTU y MERRA-2), aunque se utiliza MERRA-2 por ser el que mayor grado de confianza tiene. Esta fuente de datos nos indica los siguientes detalles:

Fuente de datos	Grado de confianza	Dispersión zona (m/s)	Weibull C	Weibull K
MERRA-2	80 %	±0,24	4.4912	1.1539

Tabla 3.22: Parámetros obtenidos a partir de la fuente de datos MERRA-2.

La distribución de Weibull es la curva estadística que permite obtener como es la frecuencia del viento. Como se aprecia en la tabla anterior, se muestran dos valores de Weibull, los cuales sirven para determinar conclusiones idénticas. Weibull C es el parámetro de escala en m/s, mientras que Weibull K es el parámetro en adimensional. Se analiza de los valores obtenidos que los valores bajos de Weibull C indican un mayor número de días de vientos bajos, y para valores de Weibull K cercanos a 1 una mayor cantidad de días con velocidades de vientos bajas.

Se muestra en la siguiente tabla las velocidades de los vientos y producción eólica.

Mes	Velocidad viento [m/s]	Potencia [kWh/día]	Potencia [kWh/mes]
Enero	6.6	231.8	7186
Febrero	5.8	162.3	4586
Marzo	5.9	166.5	5161
Abril	5.2	114.7	3442
Mayo	4.5	72.6	2251
Junio	4.1	55.1	1653
Julio	3.9	47.5	1472
Agosto	3.6	39.0	1210
Septiembre	3.8	44.0	1319
Octubre	4.1	55.1	1708
Noviembre	5.8	162.3	4870
Diciembre	5.7	154.3	4783
Media	4.9	108.8	3311

Tabla 3.23: Datos de la velocidad de los vientos y producción eólica mediante el aerogenerador Enair 200.

Como se puede observar, la media no es realista, ya que si se basa la instalación en esos datos, solo sería necesario instalar tres aerogeneradores para conseguir los 300 kWh/día que requiere el aeródromo. No obstante, debido a que la función es la de extinguir incendios y estos se producen a lo largo de los meses de verano, se debería centrar el estudio en estos meses de mayor carga de trabajo y funcionamiento del aeródromo. De esta manera, en verano se registran una velocidad de viento media de 3.85 m/s, lo que supone una potencia generada de 46.4 kWh/día y 1413.5 kWh/mes. Por ello, se necesitarían como mínimo 7 aerogeneradores Enair 200 para conseguir el consumo diario objetivo.

Rosa de los vientos

La rosa de los vientos permite conocer los vientos predominantes y es necesaria conocerla para instalar los aerogeneradores con la orientación adecuada y óptima y en un lugar libre de obstáculos.

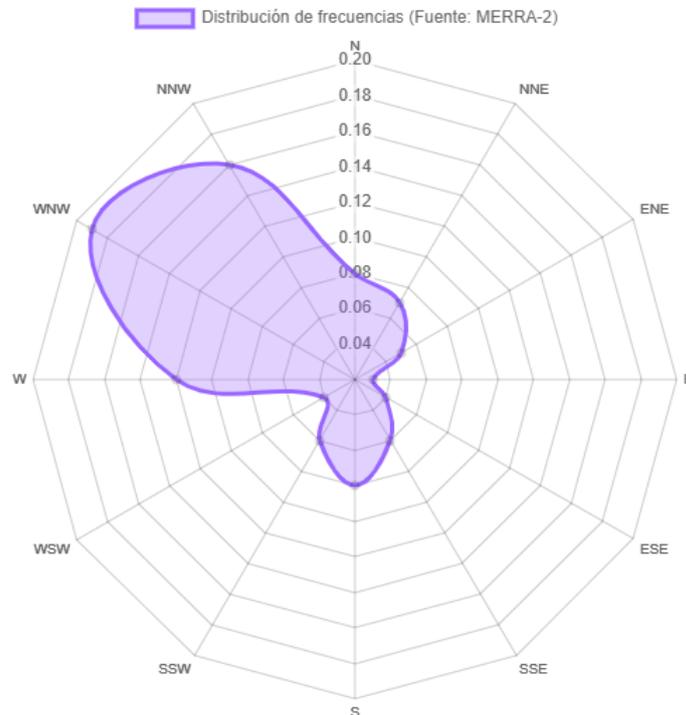


Figura 3.29: Rosas de los vientos de la ubicación de la instalación eólica (Fuente: Enair).

Según la rosa de los vientos, los aerogeneradores deberán tener una orientación WNW debido a la predominancia de vientos en esta dirección.

Elección de los elementos comerciales de la instalación eólica

En este apartado, se elige el aerogenerador que se ajusta mejor a las características y condiciones que necesita el aeródromo de extinción de incendios. Se utiliza el aerogenerador de minieólica E200 [37], cuya eficiencia de generación y diseño permite abastecer instalaciones trifásicas de gran potencia con alto rendimiento, Además, dispone de un control activo para gestionar sus 4

sistemas de seguridad y optimizar su producción modificando el ángulo de pitch.



Figura 3.30: Aerogenerador Enair E200 (Fuente: Enair).

En cuanto a sus características más importantes son:

1. Produce el mínimo ruido, entorno a 1 % por encima del ruido ambiente, es decir, casi inapreciable a nuestro oído.
2. Asegura la máxima eficiencia para velocidades bajas hasta velocidades altas.
3. Es anticorrosivo y dispone de sistema de antihielo y de resistencia a temperaturas hasta de -50°C . Asimismo, tiene un sistema de detección de tormentas para bloquear el aerogenerador y no producir daños en este, y un sistema inteligente que mide el nivel de carga de la batería para detener el aerogenerador.
4. Mediante control remoto, se puede modificar hasta 700 parámetros para garantizar el rendimiento óptimo.
5. Dispone de 3 sistemas de seguridad activos (freno mecánico, posición stall e inducción magnética) y 2 sistemas pasivos (bloqueo del eje y freno aerodinámico).

En cuanto a los datos técnicos, se muestran en la siguiente tabla:

	Características	Valores
Generador	Potencia	20 kW máx
	Configuración	3 fases - 500 V Transmisión directa
Aerogenerador	Potencia Nominal	18kW IEC61400-2
	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Velocidad nominal de rotación	120 rpm
	Inicio de Rotación	1,85 m/s
	Corte de producción	30 m/s
	Peso	1.000 kg
Rotor	Diámetro	9,8m
	Área de barrido	75,4 m ²
	Longitud de Pala	4,5 m
	Material de la pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano

Tabla 3.24: Datos técnicos del aerogenerador Enair 200.

En el anexo I y J, se muestra el resto de características e información acerca del aerogenerador Enair 200.

Superficie necesaria y disponible para la instalación fotovoltaica

Análogo a lo realizado para la instalación solar, se analiza el terreno libre cercano al aeródromo y se selecciona la ubicación con latitud 38.805815 y longitud -0.010841. El terreno consta de una superficie total de 20054,31 m² para que se pueda instalar los 7 aerogeneradores acorde a las distancias establecidas. Estas distancias son una distancia mínima de 3 a 5 diámetros de separación entre aerogeneradores de la misma fila y 5 a 9 diámetros entre los de filas contiguas [38]. La configuración de la instalación será dos filas de aerogeneradores, una primera de tres y una segunda de cuatro aerogeneradores. Las distancias entre aerogeneradores de la misma fila y entre las filas contiguas será de 50 metros y 90 metros respectivamente.

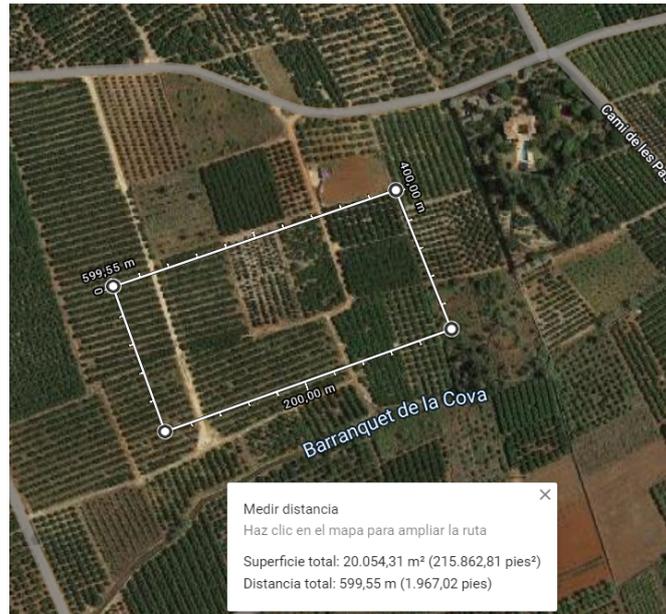


Figura 3.31: Localización de la instalación eólica del aeródromo (Fuente: Google Maps).

3.2.7. Presupuesto de la instalación eólica

A continuación , se muestra el presupuesto aproximado necesario para realizar la instalación eólica propuesta para la generación de electricidad en el aeródromo de extinción de incendios.

Descripción	Cantidad	Precio	Importe
Terreno	20054,31 m ²	15 €/m ²	300814,65 €
Aerogenerador Enair 200	7 unidades	80000 €	560000 €
Total			860814,65 €

Tabla 3.25: Presupuesto de la instalación eólica.

Como se puede observar, el presupuesto total necesario para la instalación eólica completa es de 1790526,95 €

4. Presupuesto del proyecto

El presupuesto del proyecto cuenta con las horas trabajadas, los instrumentos de trabajo utilizados y las licencias necesarias. De esta manera, se muestran las siguientes tablas:

	N° de trabajadores	Coste(€/h)	Horas trabajadas a la semana	Semanas
Ingenieros Aeroespaciales	1	17	3	14
Total (€)			714	

Tabla 4.1: Presupuesto relacionado con las horas trabajadas.

	Coste(€/h)	Horas	Coste (€)
Acer Aspire 3 A315-56-35CA	1,3	21	27,3
MacBook Pro	1,6	21	33,6
Total (€)		60,9	

Tabla 4.2: Presupuesto relacionado con los instrumentos de trabajo utilizados.

	Coste(€)
ArcGIS Desktop Basic	1200
AutoCAD	2342
Total (€)	3542

Tabla 4.3: Presupuesto relacionado con las licencias necesarias.

Coste de los ingenieros	714 €
Coste de los equipos	60,9 €
Coste de las licencias	3542 €
Coste total del proyecto	4316,9 €
Gastos generales	10 %
Coste bruto del proyecto	4784,59 €
IVA	21 %
Coste neto del proyecto	5753,35 €

Tabla 4.4: Presupuesto total del proyecto.

Para realizar un proyecto como este, será necesario un presupuesto total de 5753,35 €.

5. Conclusiones

A modo de conclusión, se va a analizar los resultados desde el punto de vista efectivo y económico de las energías renovables aplicados, es decir el solar y eólico.

En primer lugar, la energía eólica, aunque sea uno de las alternativas energéticas más utilizadas en España y Europa, no es efectiva para la zona de la Marina Alta. Las bajas velocidades registrados en los últimos años por la fuente de datos MERRA-2 no son suficientes para utilizar aerogeneradores de mayor potencia, ya que necesitan velocidades de inicio de generación eléctrica de valores similares a las velocidades medias de nuestra zona. Además, debido a que la funcionalidad del aeródromo es la de extinguir incendios, los meses de mayor necesidad energética son los que menos potencia eólica se produce. Por último, para conseguir los 300 kWh/día necesarios para el correcto funcionamiento del aeródromo, se necesitaría un mínimo de 7 aerogeneradores Enair 200 y emplazamiento muy grande para la instalación eólica completa. Esto es inviable, puesto que el presupuesto necesario se elevaría a 860814,65 € y hay alternativas renovables como la solar más convenientes.

En segundo lugar, la energía solar es ideal para cumplir con los requisitos necesarios. Se ha conseguido implantar una instalación solar capaz de funcionar durante todos los meses aprovechando la irradiación solar mediante placas solares y baterías. Se consiguen los kWh/día necesarios, además de utilizar correctamente las baterías, ya que se llena el 82.09% de las veces y se vacían completamente durante las noches. Asimismo, la mayor producción de energía se logra durante el verano, lo cual es crucial y de suma importancia. Por último, en cuanto a lo económico, se requiere un presupuesto de 155.375,80 €, lo que supone una inversión elevada al principio, pero muy viable, puesto que se amortizaría entre 5 y 7 años.

Finalmente, se apuesta por diseñar un aeródromo de extinción de incendios en la zona de la Marina Alta, lugar estratégico para paliar incendios en toda la Comunidad Valenciana. Para su correcto funcionamiento, se hará uso de la energía renovable procedente del Sol, debido a la gran influencia que tiene en la ubicación en cuestión. Se hace uso de 272 paneles solares entre otros elementos para generar la energía suficiente a lo largo de los meses. Así, se logra un aeródromo 100% sostenible energéticamente, de gran importancia y funcionalidad, y viable económicamente.

A. Pliego de condiciones

A.1. Alcance

La finalidad del presente Anexo es definir las condiciones necesarias para realizar el proyecto sobre el que se ha basado el Trabajo Final de Máster titulado *una propuesta de sostenibilidad energética para un aeródromo de extinción de incendios mediante energías renovables*. Será considerado este tfm como un posible proyecto enfocado en diseño de infraestructuras e implementación de instalaciones y tecnologías.

A.2. Resumen del proyecto

Este proyecto consiste en una propuesta que apuesta por la innovación y tiene alcance medioambiental. Además, se presenta los siguientes estudios y análisis:

- Diseño de un aeródromo de extinción de incendios a partir de los Manuales y acorde a su función principal.
- Utilización y manejo de softwares para el correcto desarrollo y diseño del proyecto.
- Estudio de la rentabilidad de utilizar las energías renovables como medio de sostenibilidad energética.
- Identificar los inconvenientes y limitaciones del estudio realizado.
- Concluir el proyecto exponiendo la mejor opción para diseñar un aeródromo de extinción de incendios sostenible energéticamente mediante energías renovables.

A.3. Condiciones del proyecto

A.3.1. Condiciones técnicas

Para la realización de este proyecto ha sido necesario el uso de equipo informático que permita llevar a cabo los estudios y análisis presentados. Este equipo se compone de dos ordenadores: un ordenador MacBook Pro destinado al diseño mediante AutoCAD y obtención de datos, y un ordenador Acer para usar el software ArcGIS. El presupuesto de cada ordenador portátil puede encontrarse en 4.

Por otro lado, entre los programas utilizados durante la elaboración del proyecto se encuentran los softwares: AutoCAD, ArcGIS, PVMGIS y Ryse Energy. El presupuesto de cada uno de estos programas puede observarse en 4.

A.3.2. Evaluación de resultados

Los resultados obtenidos y presentados en este proyecto corresponden con un estudio real de diseño de aeródromos y de implementación de energías renovables. Para el diseño del aeródromo se ha utilizado el Manual de Diseño de Aeródromos y el Manual de Servicios de Aeropuertos. Asimismo, se ha trabajado con programas del ámbito del diseño de estas infraestructuras, como son ArcGIS y AutoCAD. En cuanto a las energías renovables, se ha propuesto dos proyectos: una instalación fotovoltaica y una instalación eólica. Se opta finalmente por utilizar la energía fotovoltaica puesto que permita dar la sostenibilidad energética al aeródromo de manera autónoma y con almacenamientos.

En caso de ser necesaria más información sobre la metodología llevada a cabo en el proyecto, conviene consultar las referencias utilizadas que se pueden observar en la Bibliografía.

A.3.3. Condiciones de contrato

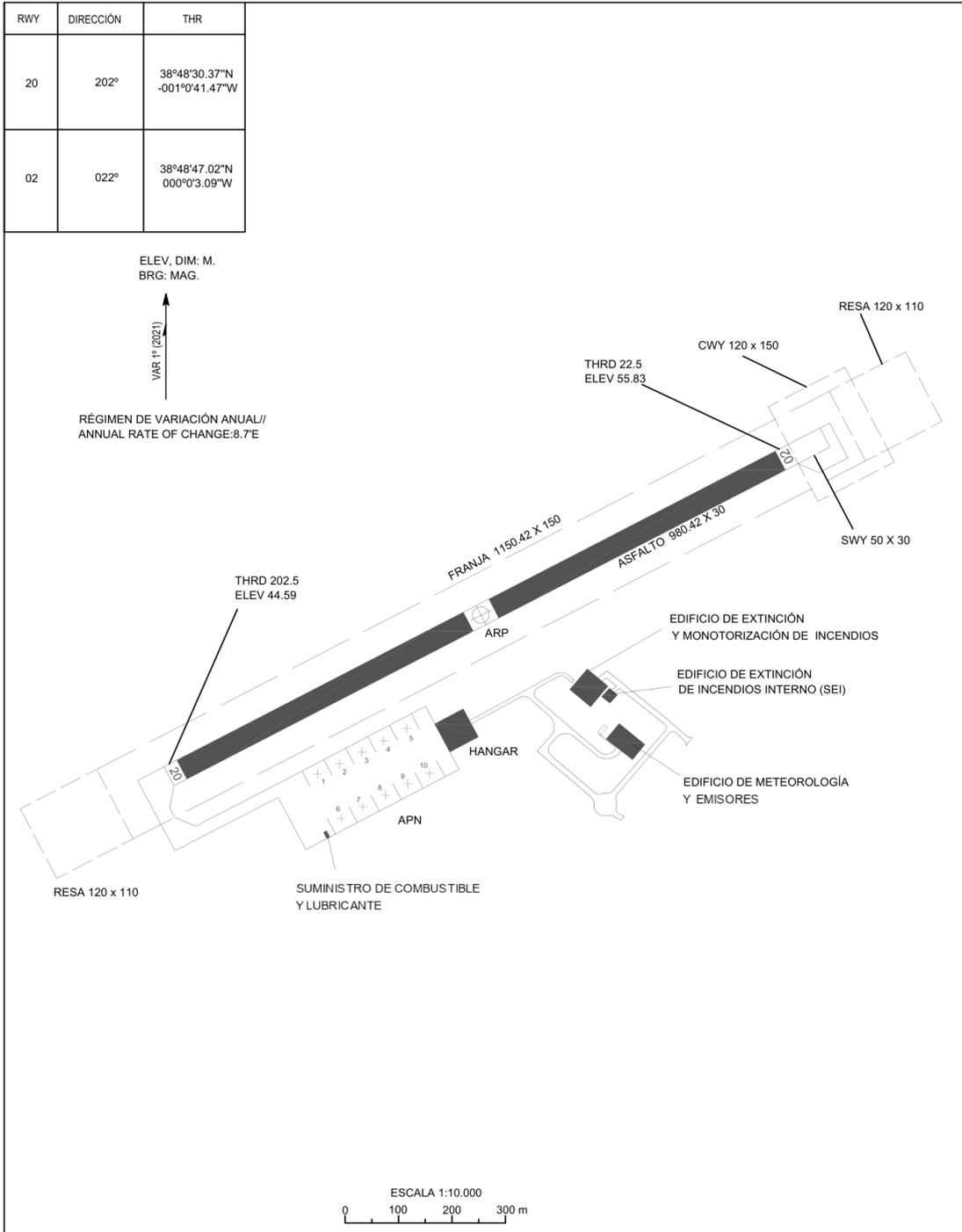
Este proyecto es de acceso abierto y tiene una licencia de reconocimiento, no comercial sin obra derivada. Esto significa que no se permite el uso comercial de este proyecto ni la generación de obras derivadas.

B. Plano de aeródromo de extinción de incendios

AIP
ESPAÑA

AD 2-LELM ADC
16-ENE-22

PLANO DE AERÓDROMO-OACI 38°48'38.59"N ELEV 55 m PWR 118.750 LA MARINA
-000°0'19.32"W GMC 121.700



AIS-ESPAÑA

AIS-ESPAÑA

C. Ficha técnica de los módulos Hiku 370W



HiKu HIGH POWER MONO PERC MODULE 355 W ~ 380 W CS3L-355 | 360 | 365 | 370 | 375 | 380MS



MORE POWER

-  26 % higher power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost
-  42°C Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.35 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa*

*Black frame product can be provided upon request.

12 Years Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

25 Years Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / MCS / INMETRO
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your product and applicable in the regions in which the products will be used.

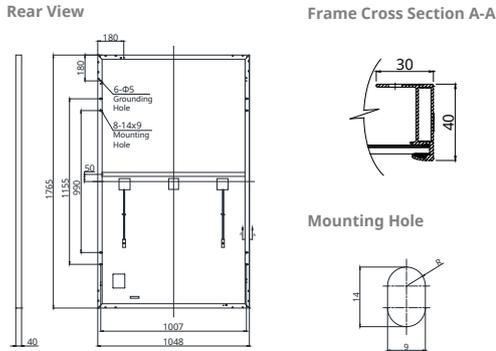
CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 50 GW deployed around the world since 2001.

* For detailed information, please refer to Installation Manual.

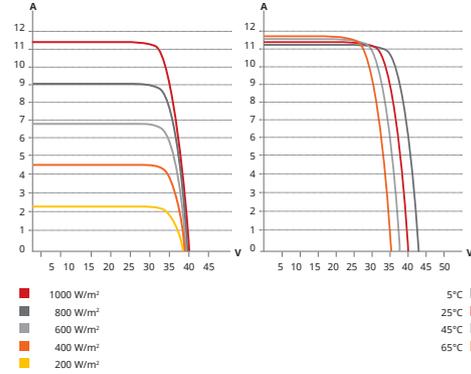
CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

D. Ficha técnica de los módulos Hiku 370W

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3L-360MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3L	355MS	360MS	365MS	370MS	375MS	380MS
Nominal Max. Power (Pmax)	355 W	360 W	365 W	370 W	375 W	380 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.5 V	33.7 V	33.9 V	34.1 V	34.3 V	34.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.61 A	10.69 A	10.78 A	10.86 A	10.94 A	11.02 A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.2 V	40.4 V	40.6 V	40.8 V	41.0 V	41.2 V
Short Circuit Current (Isc)	11.33 A	11.40 A	11.47 A	11.54 A	11.61 A	11.68 A
Module Efficiency	19.2%	19.5%	19.7%	20.0%	20.3%	20.5%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	20 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	120 [2 X (10 X 6)]
Dimensions	1765 X 1048 X 40 mm (69.5 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	21.1 kg (46.5 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-); landscape: 1250 mm (49.2 in)*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	702 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3L	355MS	360MS	365MS	370MS	375MS	380MS
Nominal Max. Power (Pmax)	265 W	269 W	272 W	276 W	280 W	284 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	31.2 V	31.4 V	31.6 V	31.8 V	32.0 V	32.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.48 A	8.55 A	8.62 A	8.68 A	8.75 A	8.81 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.8 V	38.0 V	38.2 V	38.4 V	38.6 V	38.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.14 A	9.20 A	9.25 A	9.31 A	9.37 A	9.42 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.35 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.27 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

January 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.594_EN

E. Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.



FRONIUS TAURO

Modelo Direct



Flexibilidad en el diseño del sistema



Máx. rendimiento hasta 50° C



Luz solar directa



Optimización de costes



Refrigeración activa de doble pared



Reemplazo de la etapa de potencia

Con potencias de 50 y 100 kW, el Fronius Tauro trifásico asegura el máximo rendimiento incluso en las condiciones más extremas.

Gracias al diseño de hardware inteligente consigue la optimización de los costes BOS y una flexibilidad en el diseño del sistema sin precedente. Una sencilla instalación y el servicio más rápido del mercado garantizan el máximo rendimiento.

DATOS TÉCNICOS FRONIUS TAURO

DATOS DE ENTRADA	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Número de seguidores MPP	3		1	
Máx. corriente de entrada ($I_{dc\ máx}$)	134 A	87,5 A		175 A
Máx. corriente de entrada por campo de módulo (FV1/FV2/FV3)	36 / 36 / 72 A	75 / 75 / - A		75 / 75 / 75 A
Máxima corriente de cortocircuito (FV1/FV2/FV3)	72 / 72 / 125	125 / 125 / -		125 / 125 / 125
Máxima corriente de cortocircuito ($I_{sc\ max, inverter}$)	240	178		355
Rango de tensión de entrada ($U_{dc\ min} - U_{dc\ máx}$)	200 - 1000 V		580 - 1000 V	
Tensión de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)	200 V		650 V	
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ máx}$)	400 - 870 V		580 - 930 V	
Número de entradas CC (FV1/FV2/FV3)	4 / 3 / 7	7 / 7 / -		7 / 7 / 8
Máx. potencia del generador FV ($P_{dc\ máx}$)		75 kW _{pico}		150 kW _{pico}

DATOS DE SALIDA	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	50.000 W		99.990 W	100.000 W
Máx. corriente de salida	50.000 VA		99.990 VA	100.000 VA
Corriente de salida CA ($I_{ac\ nom}$)	76 A			152 A
Acoplamiento a la red ($U_{ac,r}$)		3~ NPE 400/230 V ; 3~ NPE 380/220 V		
Frecuencia (rango de frecuencia $f_{min} - f_{máx}$)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Factor de potencia ($\cos \phi_{ac,r}$)		0 - 1 ind. / cap.		

DATOS GENERALES	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)		755 x 1109 x 346 mm (sin montaje en pared)		
Peso	92 kg	74 kg		103 kg
Tipo de protección		IP 65		
Clase de protección		1		
Consumo nocturno		< 16 W		
Refrigeración		Tecnología de Ventilación Activa y sistema de doble pared		
Instalación		Interior y exterior ¹		
Margen de temperatura ambiente		- 40 bis + 65 °C ²		
Certificados y cumplimiento de las normas ³	AS/NZS 4777.2:2020, IEC62109-1/-2, VDE-AR-N 4105:2018, IEC62116, EN50549-1:2019 & EN50549-2:2019, VDE-AR-N 4110:2018, CEI 0-16:2019, CEI 0-21:2019			

¹ Posibilidad de radiación solar directa

² Desconexión CA opcional montada dentro del inversor: de - 30 a 65 °C

³ Certificados previstos. Para ver los certificados actuales, consulta www.fronius.com/tauro-cert

F. Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.

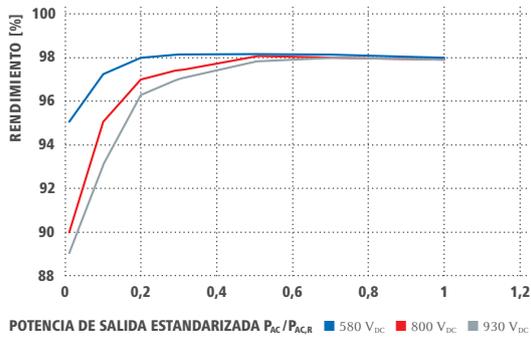
DATOS TÉCNICOS FRONIUS TAURO

TECNOLOGÍA DE CONEXIÓN CA	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Diámetro del cable	35 - 240 mm ²		70 - 240 mm ²	
Material conductor de CA	Al y Cu			
Terminales de conexión	Terminal de cable o pinzas en V			
Opción con un único núcleo (cable unipolar)	Prensaestopa: 5 x M40			
Opción con varios núcleos (cable multipolar)	Prensaestopa: 1 x conexión multipolar O 16 - 61,4 mm + 1 x M32			
Opción de conexión en serie de la CA (cable unipolar)	Prensaestopa: 10 x M32			
TECNOLOGÍA DE CONEXIÓN CC	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Diámetro del cable	4 - 6 mm ²			
Material conductor de CA	Cu			
Terminales de conexión	Conexión directa CC MC4			
RENDIMIENTO	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Máximo rendimiento	98,6 %		98,5 %	
Rendimiento europeo (ηEU)	98,1 %		98,2 %	
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %			
EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Seccionador CC	Integrado			
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento al punto de trabajo, limitación de potencia			
Protección contra polaridad inversa	Integrado			
RCMU	Integrado			
Medición de aislamiento CC	Integrado			
Protección contra sobrecargas CC	Tipo 1 + 2 integrado, Tipo 2 opcional			
Fusibles string CC	Integrado, 15 A o 20 A			
INTERFACES	TAURO 50-3-D	TAURO ECO 50-3-D	TAURO ECO 99-3-D	TAURO ECO 100-3-D
Wi-Fi	Fronius Solar.web, Modbus TCP Sunspec, Fronius Solar API (JSON)			
2x Ethernet LAN RJ45	10/100Mbit; máx. 100m Fronius Solar.web, Modbus TCP Sunspec, Fronius Solar API (JSON)			
USB (tipo A)	1A @5V máx. ³			
Desconexión por cable (WSD)	Parada de emergencia			
2x RS485	Modbus RTU SunSpec conexión al controlador/batería			
6 entradas digitales y 6 salidas digitales I/Os	Interfaz programable para el receptor de control de ondas, gestión de energía, control de carga			
Datalogger y Webserver	Integrado			

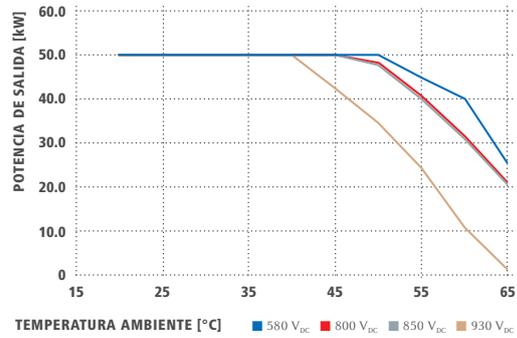
³ Solo para suministro eléctrico

G. Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.

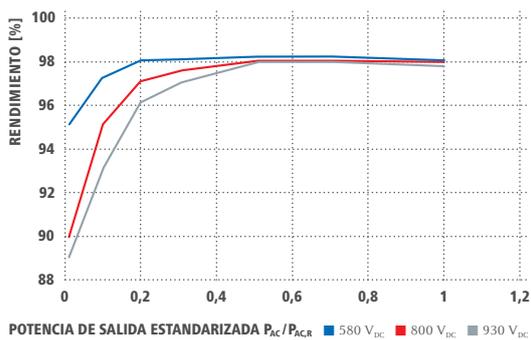
FRONIUS TAURO ECO 50-3-D
CURVA RENDIMIENTO



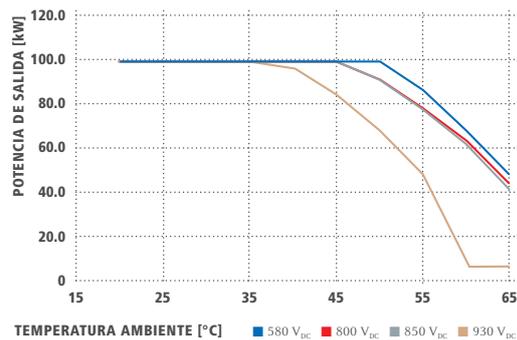
FRONIUS TAURO ECO 50-3-D
REDUCCIÓN DE TEMPERATURA



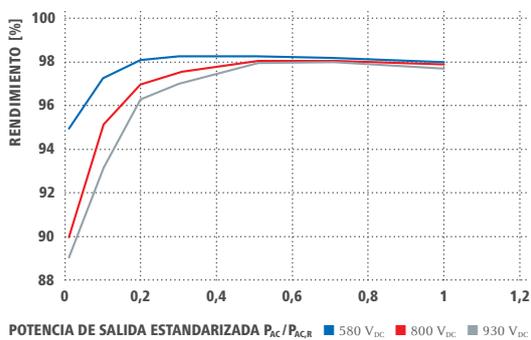
FRONIUS TAURO ECO 99-3-D
CURVA RENDIMIENTO



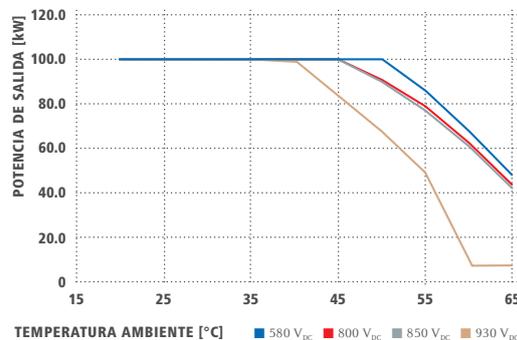
FRONIUS TAURO ECO 99-3-D
REDUCCIÓN DE TEMPERATURA



FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
CURVA RENDIMIENTO



FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
REDUCCIÓN DE TEMPERATURA



H. Ficha técnica de inversor Fronius Tauro 100-3-D.

TRES UNIDADES DE NEGOCIO, UNA MISMA PASIÓN: TECNOLOGÍA QUE ESTABLECE ESTÁNDARES.

Lo que en 1945 comenzó como una empresa unipersonal, en la actualidad marca los estándares tecnológicos en los sectores de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. En la actualidad contamos en todo el mundo con 5.440 empleados y 1.264 patentes concedidas por desarrollos de productos, poniendo de manifiesto nuestro innovador espíritu. La expresión "desarrollo sostenible" significa para nosotros fomentar aspectos sociales y relevantes para el medio ambiente, teniendo en cuenta los factores económicos. Nuestro objetivo siempre ha sido el mismo: ser líderes en innovación.

PERFECT WELDING

Nuestra misión es Perfect Welding; nos dedicamos con pasión desde hace décadas al desarrollo de tecnologías para que nuestros clientes consigan la unión perfecta en forma de cordón de soldadura. Nuestras extraordinarias tecnologías y servicios, en interacción con las aplicaciones de nuestros clientes, no solo solucionan sus problemas de soldadura individuales, sino que contribuyen al aumento de su productividad.

SOLAR ENERGY

Nuestro objetivo es conseguir 24 horas de sol. Trabajamos día a día para conseguir un futuro donde el suministro energético a nivel mundial esté basado al 100% en energías renovables. Para ello, nos centramos en el desarrollo de soluciones que generan, almacenan, distribuyen y consumen energía solar de manera económica, eficiente e inteligente.

PERFECT CHARGING

Como líder en know how en el mercado de carga de baterías, ofrecemos soluciones para que nuestros clientes consigan el máximo beneficio. En el sector intralogístico, nos enfocamos en la optimización del flujo de energía para vehículos industriales eléctricos, con un esfuerzo constante en innovación. Nuestros potentes cargadores de batería garantizan la seguridad de los procesos en talleres.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite www.fronius.com

Fronius España S.L.U.
Parque Empresarial LA CARPETANIA
Miguel Faraday 2
28906 Getafe (Madrid)
España
Teléfono +34 91 649 60 40
pv-sales-spain@fronius.com
www.fronius.es

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
Teléfono + 43 7242 241-0
Fax +43 7242 241-952560
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Texto e imágenes según el estado técnico en el momento de la impresión. Sujeto a modificaciones. No podemos garantizar la exactitud de todos los datos a pesar de su cuidadosa edición, declinamos por ello cualquier responsabilidad. Copyright © 2011 Fronius™. Todos los derechos reservados.

ES v01 Mar 2021

I. Ficha técnica del aerogenerador Enair 200.



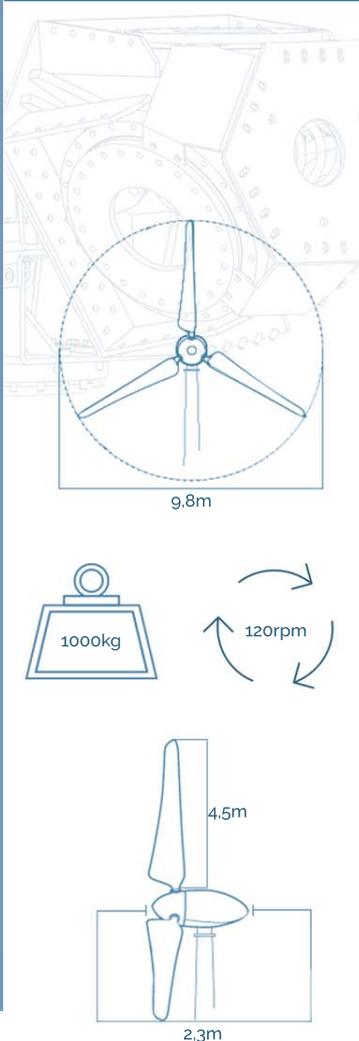
E200

FICHA TÉCNICA

Nuestra tecnología patentada es una inteligente adaptación de los principales sistemas que tiene la gran eólica adaptada a potencias de 10 a 60kW. Alta seguridad, máximo control y eficiencia

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

GENERADOR	Potencia	20kW - Max.
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal sotavento
	Potencia nominal	18kW - IEC 61400
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1.85m/s
	Corte producción	30m/s
	Protección	Ip-65/alta protección ambiental
	Peso	1000kg
ROTOR	Diámetro	9.8m
	Área de barrido	75.4m ²
	Longitud de pala	4.5m
	Material de pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
	Tipo de control	Paso variable activo, regul. electrónica y freno
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Paso	Paso variable con control activo Por viento y potencia
	Freno	Freno electromecánico de seguridad
	Control electrónico de:	- Velocidad de viento - Temperatura (opc.) - Voltaje - Fallos en la red - Fallo de sensores
CONTROL DE LA TURBINA	Sistema electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
	Software	Software personalizado. Pantalla datos (opc.)
INVERSORES	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es

J. Ficha técnica del aerogenerador Enair 200.

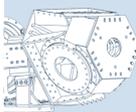


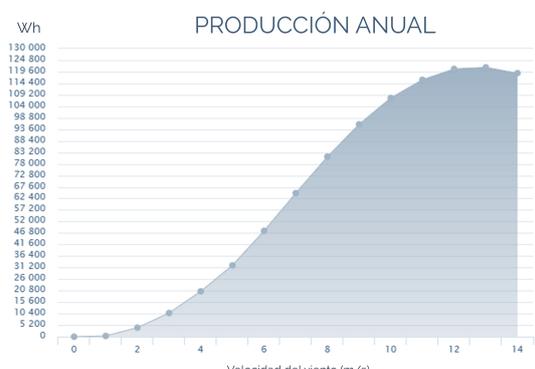
E200 Wind Turbine FICHA TÉCNICA

LA TECNOLOGÍA DE LA GRAN EÓLICA
ADAPTADA EN LA PEQUEÑA EÓLICA

Vida útil de
25 años!!

CLASS I WIND TURBINE
IEC 61400-2/NVI-A

<p>CONTROL DE PASO VARIABLE ACTIVO</p> 	<p>Tecnología patentada</p> <p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Robusto - Alta resistencia - Control de paso variable de ángulo completo - Muelle pasivo de seguridad ante cualquier fallo en el sistema - Accionamiento hidráulico <p>Tecnología escalable de 5 a 100kW de potencia, puntos clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simple - Muy Seguro y con control total
<p>CONTROL ELECTRÓNICO</p> 	<p>Funciones multiprograma:</p> <p>Control total de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rpm - Nm - Hz - V AC/DC - m/s <p>Control sobre los parámetros de la turbina, lo que le permite decidir las mejores acciones para optimizar la producción y su seguridad.</p> <p>El software permite implementar diferentes configuraciones en función de las condiciones de viento para así aumentar su eficiencia.</p>



PASO VARIABLE ACTIVO Y PROTECCIÓN PASIVA

El sistema de paso variable activo permite que la posición de la pala varíe para cada velocidad del viento adaptándose al mismo para ganar eficiencia de producción. Las ventajas de la simplicidad mecánica y electrónica avanzada se combinan para hacer una unión perfecta y maximizar la producción de energía, siempre con un alto nivel de seguridad

LOS DISEÑOS AERODINÁMICOS Y CFD

Se ha hecho un estudio aerodinámico completo del aerogenerador, utilizando las últimas técnicas de dinámica de fluidos computacional. Contando con los mejores expertos en la tecnología CFD y el uso de grandes centros de procesamientos de cálculo para analizar las complejas condiciones que puede sufrir una turbina eólica

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

El completo sistema de control, permite monitorizar y gestionar más de 600 parámetros del aerogenerador, de forma que podemos personalizar el funcionamiento del aerogenerador a cada lugar en función de las condiciones de viento del mismo, para maximizar su producción de energía

** Este sistema es opcional y personalizable en varios niveles

*Las especificaciones técnicas descritas en este documento están sujetas a modificaciones/cambios sin previo aviso por parte del fabricante. **Las imágenes que aparecen en este documento no son contractuales

- 

Mínimo ruido
El perfil aerodinámico de las palas está basado en la serie de perles FX, y su diseño es para maximizar la producción y minimizar el ruido.
- 

Máxima eficiencia
El sistema de control permite extraer la potencia máxima disponible desde el inicio de la rotación y pueda adaptarse a cualquier entorno
- 

Anticorrosivo
3 sistemas de seguridad, activos y pasivos: freno electromecánico activo, aerodinámico y muelle pasivo, que actúan en cualquier condición.
- 

Hermético
Los materiales utilizados están fabricados con un tratamiento de tropicalización para instalar en islas, desiertos o ambientes agresivos.
- 

Robusto
De acuerdo con la norma IEC 61400-2 el diseño del Aerogenerador está clasificado como Clase 1, con factores de seguridad en los componentes críticos de un Fs-9.

Bibliografía

- [1] Gonzalo Ruiz. *ENERGÍAS RENOVABLES: VENTAJAS Y DESVENTAJAS*. 19 de Octubre, 2021.
- [2] Anbelo Solar. *Energías renovables ventajas y desventajas*. 8de Junio, 2020. URL: <https://anbelosolar.com/noticias/energias-renovables-ventajas-y-desventajas/>.
- [3] El Periódico de la Energía. *España cubrió en abril de 2022 el 40 % de su electricidad con energía eólica y solar*. 2022. URL: <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-abrin-2022-energia-eolica-solar/>.
- [4] Cuaderno de Valores: el blog de Educo. *Qué son los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030*. 23 de Septiembre, 2019. URL: https://www.educo.org/Blog/Agenda-2030-y-Objetivos-Desarrollo-Sostenible?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=educos_brand_dsa&utm_term=kw&utm_content=text&tc_alt=64115&n_o_pst=n_o_pst&n_okw=___c_103267085027&gclid=Cj0KCQjwjbyYBhCdARIsAARc6LJ4E923njV9Z8SIR0-Jve3mMAiCALSQn8AoU5a-gLQ4qqG1kdax1fYaAv4REALw_wcB.
- [5] Organización de Aviación Civil Internacional(ICAO). *ANEXO 14 AL CONVENIO SOBRE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. VOLUMEN I: DISEÑO Y OPERACIONES DE AERÓDROMOS*. 2016.
- [6] Organización de Aviación Civil Internacional(ICAO). *Manual de diseño de aeródromos. Parte 1: Pistas*. 2006.
- [7] Organización de Aviación Civil Internacional(ICAO). *Manual de diseño de aeródromos. Parte 2: Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera*. 2006.
- [8] Organización de Aviación Civil Internacional(ICAO). *MANUAL DE SERVICIOS DE AEROPUERTOS*. 2012.
- [9] M.J Baena. *Aeropuertos sostenibles: Eficiencia energética y utilización de energías renovables*. 17 de Agosto,2021. URL: <https://aertecsolutions.com/aeropuertos-sostenibles-eficiencia-energetica-y-utilizacion-de-energias-renovables/>.
- [10] OVACEN. *Primer aeropuerto totalmente alimentado por energía solar*. 15 de mayo, 2022. URL: <https://ovacen.com/aeropuerto-energia-solar/>.
- [11] Futuro Sostenible. *Las energías limpias moverán los aeropuertos del futuro*. 31 de octubre, 2017. URL: <https://futurosostenible.elmundo.es/adaptacion/las-energias-limpias-moveran-los-aeropuertos-del-futuro.html>.
- [12] ESEFICIENCIA. *Las energías limpias moverán los aeropuertos del futuro*. 15 de noviembre, 2018. URL: <https://www.eseficiencia.es/2018/11/16/energias-renovables-puertos-latinoamericanos>.
- [13] AENA. *Energías renovables*. URL: <https://www.aena.es/es/corporativa/sostenibilidad-ambiental/energia/energias-renovables.html>.
- [14] M.Victoria Santana. *Aeronaves contra incendios*. 14 de Agosto,2019. URL: <https://www.sociadadaeronautica.org/aeronaves-contra-incendios/>.
- [15] ENAIRE. *GUÍA VFR. AERÓDROMO DE REQUENA (LERE)*. 2019. URL: <https://guiavfr.enaire.es/#AD/LERE>.
- [16] *AERÓDROMO DE REQUENA (LERE)*. 2018. URL: <http://aerodromo-requena.com/para-pilotos/aerodromo-de-requena-lere/>.

- [17] European Food Safety Authority (EFSA). *Retardantes de llama bromados*. 2018. URL: <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/brominated-flame-retardants>.
- [18] Agencia Estatal de Seguridad Aerea (AESA). *INSTRUCCIÓN TÉCNICA: SERVICIO DE SALVAMENTO Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS. CATEGORÍA OACI-SEI Y NIVEL DE PROTECCIÓN SEI*. 2006.
- [19] Agresa. *Baudouin 137 kVA*. URL: <https://www.agresa.es/grupo-electrogeno-baudouin-137-kva/>.
- [20] ArcGis Desktop. *ArcMAP*. 2014. URL: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>.
- [21] Ministerio del Aire. *REAL DECRETO 584/1972*. 1972.
- [22] Borja Pérez. *Todo lo que necesitas saber sobre la energía fotovoltaica para dummies*. Junio, 2020.
- [23] BBVA noticias. *¿Qué es la energía solar y cómo se produce? Cuando el sol es el protagonista*. URL: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>.
- [24] Antonio López (Sacyr). *CHARLES FRITTS, EL DESCONOCIDO INVENTOR DE LOS PANELES SOLARES*. URL: <https://www.sacyr.com/-/charles-fritts-el-desconocido-inventor-de-los-paneles-solares>.
- [25] Borja - Academia Energía Solar. *Introducción a la Energía Solar | CURSO DE ENERGÍA SOLAR*. URL: https://www.youtube.com/watch?v=8iKctaBpLBI&list=PLM8Ayi2QS6_MDes5A_sguJiy1LKkVoTua&index=2.
- [26] Climarsolar. *Pallet de Panel solar 370w Canadian Solar 30 Unidades Monocristalino*. 12 de abril, 2022. URL: <https://climasolar.es/palets-paneles-solares/370w-canadian-solar-monocristalino-27unidades/>.
- [27] Memodo. *Fronius Tauro ECO 100-3-D | Fronius | Střídače*. URL: <https://www.memodo.cz/fronius-tauro-eco-100-3-d>.
- [28] Baterías y Amperios. *Batería solar 12V 1000Ah Opzs*. URL: <https://www.tutiendaenergetica.es/estructura-solar-inclinada-paneles-solares-suelo-barata>.
- [29] [tutiendaenergetica.es](https://www.tutiendaenergetica.es). *Soporte placa solar para suelo 40 grados*. URL: <https://bateriasyamperios.com/producto/bateria-solar-12v-1000ah-opzs/>.
- [30] A. Mueller. *Evolution and feasibility of decentralized concentrating solar thermal power systems for modern energy access in rural areas*. 2016.
- [31] IBERDROLA. *¿Qué es la energía eólica, cómo se transforma en electricidad y cuáles son sus ventajas?* 22 de abril, 2021. URL: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>.
- [32] Ignacio Mártel. *Historia de la energía eólica: del origen a la II Guerra Mundial*. 30 de noviembre, 2021. URL: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-energia-eolica-origen-ii-guerra-mundial/>.
- [33] Repsol. *Energía eólica: funcionamiento, ventajas y aplicaciones | Repsol*. 4 de julio, 2022. URL: <https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/energia-eolica/index.cshtml#:~:text=%5C%2%5C%BFQu%5C%3%5C%A9%5C%20tipos%5C%20de%5C%20energ%5C%3%5C%ADa%5C%20e%5C%3%5C%B3lica,conocida%5C%20como%5C%20energ%5C%3%5C%ADa%5C%20e%5C%3%5C%B3lica%5C%20offshore..>
- [34] Partesdel. *Partes del aerogenerador*. 11 de abril, 2018. URL: <https://www.partesdel.com/aerogenerador.html>.
- [35] Fuentes de energía. *TIPOS DE AEROGENERADORES*. 22 de febrero, 2014. URL: <https://energicitateconnatalia.wordpress.com/energia-eolica/aerogeneradores/tipos-de-aerogeneradores/>.

-
- [36] Ángel Franco García. *Energía producida por un aerogenerador*. 2016. URL: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/energia.html#:~:text=Energ%C3%ADa%5C%20por%5C%20unidad%5C%20de%5C%20tiempo%5C%20suministrada%5C%20por%5C%20el%5C%20viento&text=A%5C%3D%5C%CF%5C%80R2%5C%20es%5C%20el,x%5C%20la%5C%20velocidad%5C%20del%5C%20viento..>
- [37] Enair. *Aerogenerador E200 - La última tecnología*. URL: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200>.
- [38] Ideasmedioambientales. *Distancias entre aerogeneradores*. 6 de febrero, 2020. URL: <https://ideasmedioambientales.com/distancias-entre-aerogeneradores/#:%5C%7E:text=la%5C%20separaci%5C%C3%5C%B3n%5C%20%5C%C3%5C%B3ptima%5C%20se%5C%20sit%5C%C3%5C%BAa,la%5C%20direcci%5C%C3%5C%B3n%5C%20perpendicular%5C%20al%5C%20viento..>