



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UNA HIBRIDACIÓN SOLAR EN UN PARQUE EÓLICO EXISTENTE

Autor: Alejandro Paniagua Gutiérrez

Director: Ignacio Martín Gutiérrez

Madrid

Junio de 2022

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. ALEJANDRO PANIAGUA GUTIÉRREZ, DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UNA HIBRIDACIÓN SOLAR EN UN PARQUE EÓLICO EXISTENTE, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 20 de Agosto de 2022.

ACEPTA



Fdo ALEJANDRO PANIAGUA GUTIÉRREZ

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una hibridación solar en un parque
eólico existente
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni
total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Alejandro Paniagua Gutiérrez

Fecha: 15/08/2022



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Ignacio Martín Gutiérrez

Fecha: 16/08/2022





COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UNA HIBRIDACIÓN SOLAR EN UN PARQUE EÓLICO EXISTENTE

Autor: Alejandro Paniagua Gutiérrez

Director: Ignacio Martín Gutiérrez

Madrid

Junio de 2022

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UNA HIBRIDACIÓN SOLAR EN UN PARQUE EÓLICO EXISTENTE

Autor: Paniagua Gutiérrez, Alejandro.

Director: Martín Gutiérrez, Ignacio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

En la actualidad, uno de los grandes problemas medioambientales son las altas emisiones de CO₂ procedentes de fuentes de energía no renovables. El Plan del Objetivo Climático para 2030 de la Comisión Europea propone una reducción de los gases de efecto invernadero del 55% frente a los niveles de 1990. Este objetivo está asociado al acuerdo de París de limitar el aumento de la temperatura global de 2°C, preferiblemente 1,5°C debido al calentamiento global. En España, las medidas para cumplir con los objetivos de la Comisión Europea se integran en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021 – 2030 (PNIEC). Estas medidas incluyen una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, la mejora de la eficiencia energética y una integración del 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

Este proyecto nace de la necesidad de aumentar la generación de energías renovables en España. Para ello, se ha decidido utilizar la hibridación de dos fuentes de energía renovable, como son la energía eólica y la energía solar fotovoltaica, debido a las grandes ventajas que presentan y la optimización de los recursos existentes. Varios proyectos de hibridación se han desarrollado en otros países, pero en España no son tan comunes. Debido al gran recurso solar y a la poca integración de la hibridación que presenta España, se ha propuesto realizar el análisis de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una hibridación solar en un parque eólico existente.

2. Metodología

El procedimiento para plantear la hibridación es el siguiente:

Primero, se ha elegido un parque eólico en función de la insolación y la temperatura media de la zona donde se encuentra, debido a que son factores importantes que afectan a la energía producida por la planta solar fotovoltaica y al rendimiento de los paneles. Posteriormente se ha realizado el análisis de viento y producción del parque eólico elegido, en este caso, el Parque Eólico Los Morrones en la provincia de Granada. Para ello, se han estudiado los perfiles de elevación de los aerogeneradores, se ha obtenido la distribución de frecuencias y la dirección del viento. A través de Global Wind Atlas, se ha obtenido la producción anual del parque eólico y se han calculado las horas equivalentes.

A continuación, se realiza un estudio de las diversas tecnologías existentes de paneles fotovoltaicos, inversores y seguidores, y se eligen los más convenientes en función de las ventajas que incluyen, los costes y las condiciones del emplazamiento.

Una vez se tienen todos los elementos para la planta solar fotovoltaica, se procede a hacer un análisis del tamaño de ésta, para aprovechar y optimizar el punto de acceso a la red y la capacidad de evacuación lo máximo posible. Para ello, se contemplan plantas solares de entre 1 MWp y 35 MWp.

Cuando se determina el tamaño de la planta solar fotovoltaica, es necesario buscar y estudiar el terreno donde se instalará. En función del tamaño necesario, se evalúan distintas agrupaciones de parcelas según los cultivos, la inclinación y la distancia a la subestación existente, entre otros factores, y se escoge la más adecuada.

Seguidamente, se procede a hacer el análisis económico: se calculan los ingresos de la planta solar y el parque eólico, la inversión necesaria, el mantenimiento y se calcula la TIR y el VAN para comprobar la rentabilidad de la inversión.

Por último, se evalúan las consecuencias ambientales del proyecto.

3. Resultados

El análisis de viento y de la producción del Parque Eólico Los Morrones concluye con una producción media de 55.352,42 MWh al año, lo que equivale a 1.845,08 horas equivalentes con un factor de potencia medio de 21,06.

Tras el análisis de los paneles solares, los inversores y los seguidores, se decide utilizar los siguientes elementos:

- Seguidores de un solo eje horizontal N-S, para aumentar la insolación recibida sin aumentar mucho el coste.
- Paneles Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV, bifaciales para aumentar la captación solar, dual-glass para aumentar la resistencia y durabilidad, half-cell para reducir pérdidas por sombras y SMBB para controlar corrientes y pérdidas.
- Inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1, de string o cadena para mayor modularidad y con alta potencia nominal para reducir costes, con toda clase de protecciones eléctricas.

Para el planteamiento de la hibridación y el tamaño de la planta solar fotovoltaica, se concluye que la potencia de la planta solar instalada será de 35 MWp, lo que supondrá un curtailment del 13,26%. El excedente de energía se encuentra por debajo del 7% respecto a la energía total del parque eólico y planta fotovoltaica y del 11% respecto a la energía solar generada. Estos valores de curtailment y excedentes se consideran aceptables y no afectan negativamente al funcionamiento de las plantas.

De las tres propuestas de terrenos para la instalación de la planta solar fotovoltaica, se decide escoger la agrupación número tres. Esta agrupación está formada por tres parcelas diferentes, con un tamaño superior a las 70 hectáreas necesitadas, tienen una inclinación

muy leve que permite la instalación de paneles solares, y no presentan ningún cultivo, al contrario que las otras agrupaciones, por lo que no habrá que compensar económicamente a los arrendadores por la retirada y las pérdidas del cultivo. Se encuentra a una distancia de 1 km de la subestación eléctrica.



Figura 1 Situación de los terrenos respecto al parque eólico y la subestación eléctrica

Finalmente, en el estudio económico, se obtiene un CAPEX de 19.583.277 € y un OPEX de 1.682.100 € que irá variando según las previsiones de inflación para los próximos años. Se obtiene el siguiente flujo de caja durante los años de la vida útil de la planta fotovoltaica:

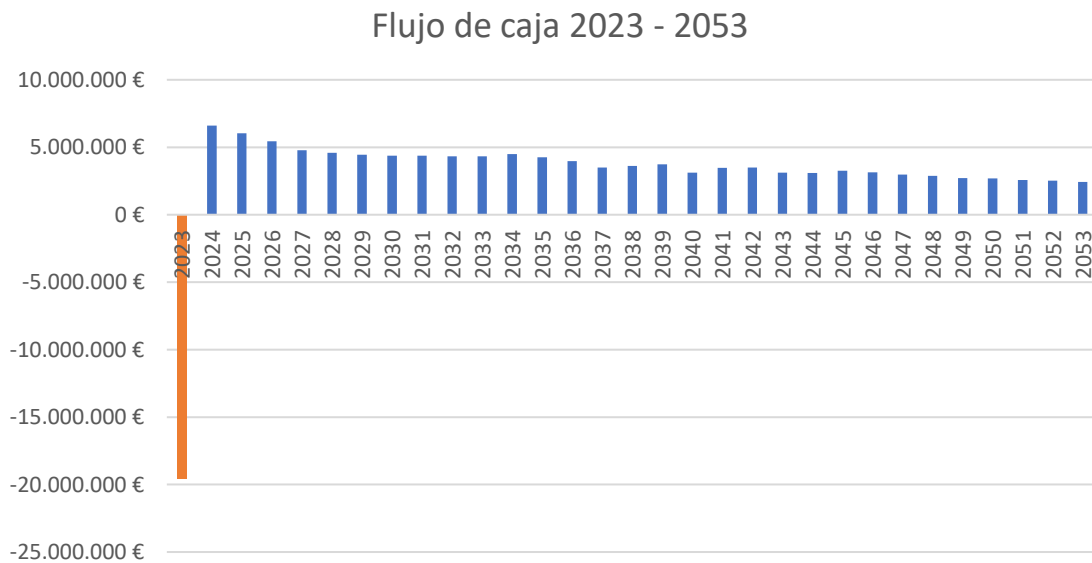


Figura 2 Flujo de caja 2023 – 2053

Se obtiene una TIR del 9,93% y un VAN de 1.038.847 €. Los beneficios se representan en el gráfico:

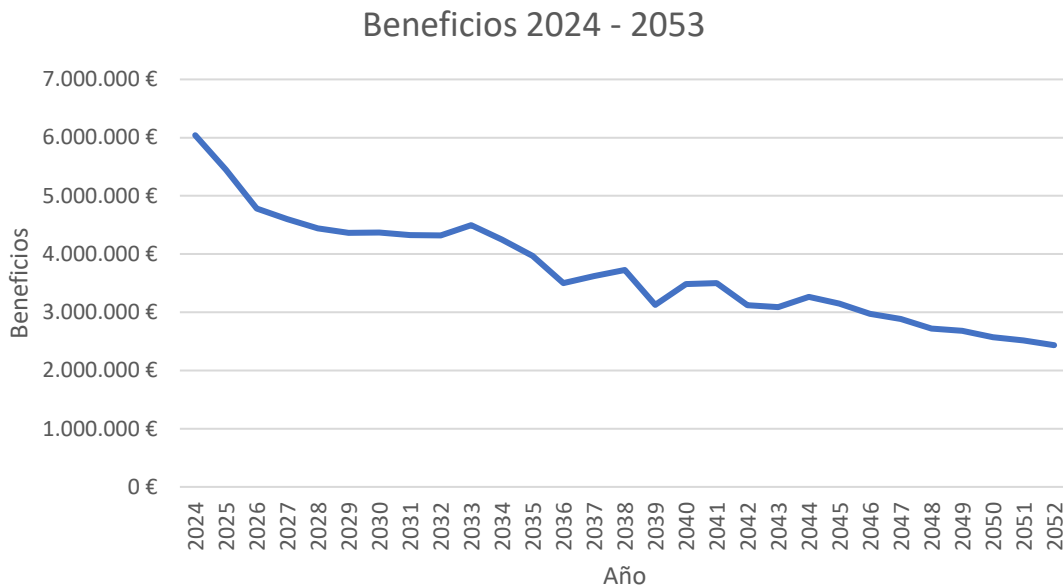


Figura 3 Beneficios 2024 – 2053

Por último, las consecuencias ambientales de la hibridación y los efectos sobre la atmósfera, el suelo, las aguas, la flora, la fauna, la salud pública, el patrimonio cultural y el medio son limitados y compatibles durante las fases de construcción, producción y desmantelamiento.

4. Conclusiones

La hibridación solar del Parque Eólico Los Morrones es completamente viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. El valor obtenido para la TIR confirma que el proyecto es rentable.

5. Referencias

"Plan Del Objetivo Climático Para 2030". 2022. Comisión Europea.

https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_es.

"Plan Nacional Integrado De Energía Y Clima 2021 - 2030". 2020. *Ministerio Para La Transición Ecológica Y El Reto Demográfico*.

https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY OF SOLAR HYBRIDIZATION AT AN EXISTING WIND FARM

Author: Paniagua Gutiérrez, Alejandro.

Supervisor: Martín Gutiérrez, Ignacio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

1. Introduction

Currently, one of the biggest environmental problems is high CO₂ emissions from non-renewable energy sources. The European Commission's 2030 Climate Target Plan proposes a reduction of greenhouse gases by 55% compared to 1990 levels. This target is associated with the Paris agreement to limit the global temperature increase to 2°C, preferably 1.5°C, due to global warming. In Spain, the measures to meet the European Commission's targets are integrated in the *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021 - 2030* (PNIEC). These measures include a reduction in greenhouse gas emissions, improved energy efficiency and a 74% integration of renewable energy in electricity generation.

This project stems from the need to increase the generation of renewable energy in Spain. To this end, it has been decided to use the hybridisation of two renewable energy sources, such as wind energy and photovoltaic solar energy, due to the great advantages they offer and the optimisation of existing resources. Several hybridisation projects have been developed in other countries, but it is not that common in Spain. Due to the large solar resource and the lack of integration of hybridisation in Spain, it has been proposed to analyse the technical, economic, and environmental feasibility of solar hybridisation in an existing wind farm.

2. Methodology

The procedure for the hybridisation approach is as follows:

First, a wind farm has been chosen according to the insolation and average temperature of the area where it is located, because these are important factors that affect the energy produced by the solar photovoltaic plant and the performance of the panels. Subsequently, the wind and production of the chosen wind farm, in this case, “Los Morriones” wind farm in the province of Granada, was analysed. To do this, the elevation profiles of the wind turbines were studied, and the wind frequency distribution and wind direction were obtained. Using Global Wind Atlas, the annual production of the wind farm was obtained, and the equivalent hours were calculated.

Next, a study of the various existing technologies of photovoltaic panels, inverters and trackers is carried out and the most suitable ones are chosen according to the advantages they give, the costs and the site conditions.

Once all the elements for the photovoltaic solar plant are determined, an analysis of the size of the plant is carried out in order to optimise the grid access point and the evacuation capacity as much as possible and make the most of it. For this purpose, solar power plants of between 1 MWp and 35 MWp are considered.

When determining the size of the solar photovoltaic plant, it is necessary to find and study the land where it will be installed. Depending on the size required, different groupings of plots are evaluated according to crops, slope, and distance to the existing substation, among other factors, and the most suitable one is chosen.

Next, the economic analysis is carried out: the income from the solar plant and the wind farm, the necessary investment, the maintenance, and the IRR and NPV are calculated to check the profitability of the investment.

Finally, the environmental consequences of the project are assessed.

3. Results

The wind and production analysis of the Los Morrones Wind Farm concludes with an average production of 55,352.42 MWh per year, which is equivalent to 1,845.08 equivalent hours with an average power factor of 21.06.

After analysis of the solar panels, inverters, and trackers, it is decided to use the following elements:

- N-S single horizontal axis trackers, to increase the insolation received without increasing the cost too much.
- Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV panels, bifacial to increase solar gain, dual-glass to increase resistance and durability, half-cell to reduce losses due to shading and SMBB to control currents and losses.
- Huawei SUN2000-185KTL-H1 inverters, string inverters for greater modularity and with high nominal power to reduce costs, with all kinds of electrical protections.

For the hybridisation approach and the size of the solar photovoltaic plant, it is concluded that the power of the installed solar plant will be 35 MWp, which will result in a curtailment of 13.26%. The energy surplus is below 7% compared to the total energy of the wind farm and photovoltaic plant and 11% compared to the solar energy generated. These curtailment and surplus values are considered acceptable and do not negatively affect the operation of the plants.

Among the three land proposals for the installation of the solar photovoltaic plant, it was decided to choose grouping number three. This grouping is made up of three different plots, with a size greater than the 70 hectares needed, they have a very slight slope that allows the installation of solar panels, and they do not have any crops, unlike the other groupings, so there will be no need to financially compensate the lessors for the removal and losses of the crop. It is located at a distance of 1 km from the electricity substation.



Figure 1 Location of the land in relation to the wind farm and the electricity substation

Finally, in the economic study, a CAPEX of 19,583,277 € and an OPEX of 1,682,100 € are obtained, which will vary according to the inflation forecasts for the coming years. The following cash flow is obtained during the years of the useful life of the photovoltaic plant:

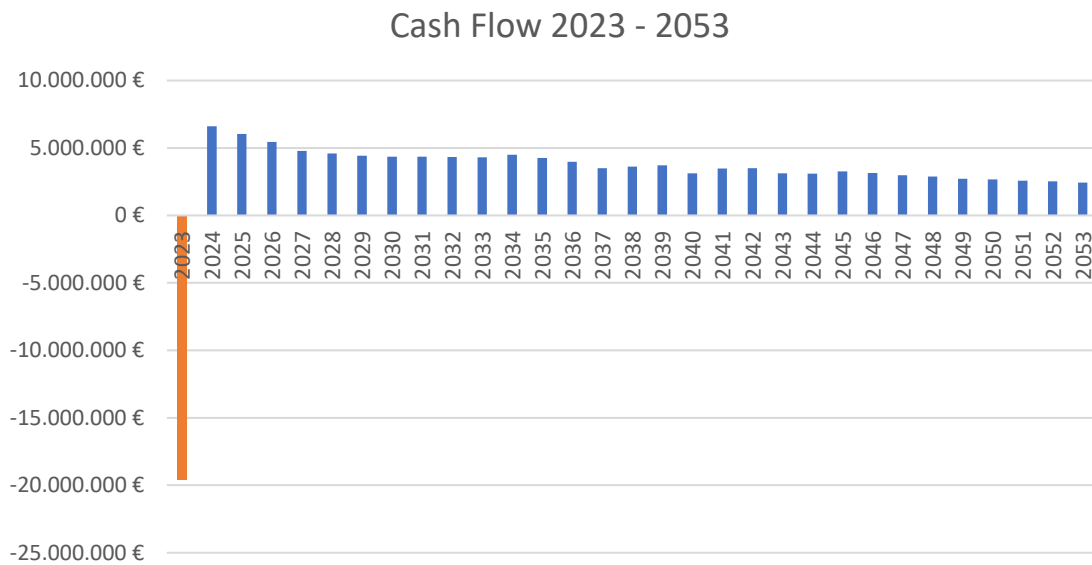


Figure 2 Cash flow 2023 - 2053

An IRR of 9.93% and an NPV of €1,038,847.70 is obtained. The profits are shown in the graph:

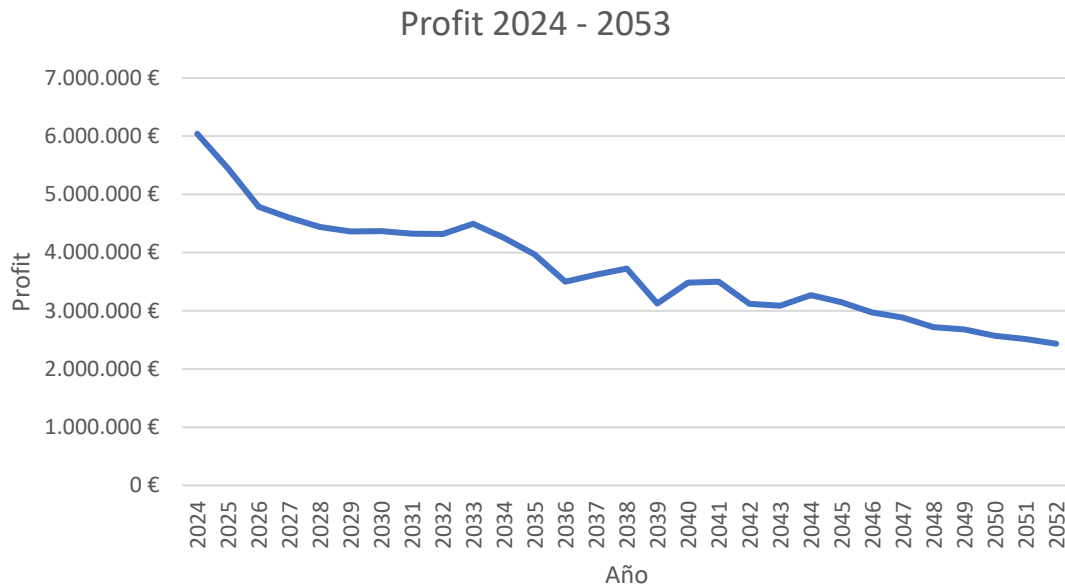


Figure 3 Profit 2024 – 2053

The environmental consequences of hybridisation and the effects on air, soil, water, flora, fauna, public health, cultural heritage, and the environment are limited and compatible during the construction, production, and decommissioning phases.

4. Conclusions

The solar hybridisation of the Los Morrones wind farm is completely viable from a technical, economic, and environmental point of view. The value obtained for the IRR confirms that the project is profitable.

5. References

"Plan Del Objetivo Climático Para 2030". 2022. Comisión Europea.
https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_es.

"Plan Nacional Integrado De Energía Y Clima 2021 - 2030". 2020. *Ministerio Para La Transición Ecológica Y El Reto Demográfico*.
https://www.miteco.gob.es/images/es/pniec_completo_tcm30-508410.pdf.

Índice

1.	Energía eólica	18
1.1.	Conceptos básicos	18
1.2.	Estructura y funcionamiento de un aerogenerador.....	18
1.3.	Parque eólico.....	19
1.3.1.	Introducción	19
1.3.2.	Descripción del parque eólico	20
1.3.3.	Localización del parque eólico	20
1.3.4.	Características de los aerogeneradores	23
1.3.5.	Análisis del viento.....	24
1.3.6.	Análisis de la producción del parque eólico.....	26
2.	Energía solar fotovoltaica.....	29
2.1.	Conceptos básicos	29
2.2.	Funcionamiento y estructura de los paneles solares fotovoltaicos.....	29
2.3.	Tipos de paneles solares fotovoltaicos	32
2.3.1.	Tipos de paneles según el material	32
2.3.2.	Paneles fotovoltaicos monofaciales o bifaciales.....	35
2.3.3.	Otras tecnologías.....	35
2.4.	Estudio de los paneles solares fotovoltaicos.....	38
2.5.	Inversores.....	40
2.5.1.	Tipos de inversores fotovoltaicos.....	41
2.6.	Estudio de los inversores.....	42
3.	Hibridación	45
3.1.	Conceptos básicos	45
3.2.	Ventajas e inconvenientes	45
3.3.	Procedimiento	46
3.4.	Parque eólico.....	46
3.5.	Planta solar fotovoltaica.....	46
3.5.1.	Estudio de la producción de energía para una planta solar de 1MWp.....	47
3.5.2.	Estudio de la situación de la planta solar fotovoltaica.....	51
4.	Análisis económico de la hibridación	61
4.1.	Costes	61
4.2.	Ingresos	63
4.3.	Análisis económico.....	65
5.	Análisis ambiental	67

5.1.	Atmósfera y cambio climático.....	67
5.2.	Suelos	68
5.3.	Aguas	68
5.4.	Flora.....	69
5.5.	Fauna	70
5.6.	Salud pública	70
5.7.	Patrimonio cultural	71
5.8.	Medio	71
5.9.	Conclusiones.....	71
6.	Conclusiones.....	72
7.	Bibliografía	76
ANEXO A:	Datos de producción diaria de energía del Parque Eólico Los Morrones	81
ANEXO B:	Listas de elementos.....	84
B.1	Lista de paneles solares a considerar.....	84
B.2	Lista de inversores a considerar	86
ANEXO C:	Informe PVsyst 7.2 para planta solar 1MWp	88
ANEXO D:	Flujos de caja en miles de €	92
ANEXO E:	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	93

Índice de tablas

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PARQUE EÓLICO LOS MORRONES.....	20
TABLA 2 ALTITUD DE LOS AEROGENERADORES.....	22
TABLA 3 PROPIEDADES DE LOS AEROGENERADORES.....	23
TABLA 4 VELOCIDADES CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO.....	24
TABLA 5 ANÁLISIS DE VIENTO.....	24
TABLA 6 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DEL PARQUE EÓLICO.....	28
TABLA 7 SELECCIÓN REDUCIDA DE POSIBLES PANELES FOTOVOLTAICOS.....	39
TABLA 8 PROPIEDADES JINKO TIGER NEO N-TYPE 72HL4-BDV.....	40
TABLA 9 SELECCIÓN REDUCIDA DE POSIBLES INVERSORES.....	43
TABLA 10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HUAWEI SUN2000-185-KTL-H1.....	44
TABLA 11 PROPIEDADES Y PRODUCCIÓN DEL PARQUE EÓLICO.....	46
TABLA 12 PÉRDIDAS EN LA SIMULACIÓN DE LA PLANTA SOLAR DE 1MWP.....	48
TABLA 13 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN EN PVSYSY PARA UNA PLANTA DE 1 MWP.....	48
TABLA 14 HORAS DE CURTAILMENT EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	49
TABLA 15 CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS PROPUESTOS.....	54
TABLA 16 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGRUPACIONES PROPUESTAS.....	54
TABLA 17 PENDIENTES DE LAS AGRUPACIONES DE TERRENOS.....	58
TABLA 18 CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS SELECCIONADOS.....	59
TABLA 19 COSTES DE INVERSIÓN DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	62
TABLA 20 COSTES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	62

Índice de figuras

FIGURA 1 ESTRUCTURA DE UN AEROGENERADOR	19
FIGURA 2 MAPA DEL PARQUE EÓLICO LOS MORRONES	21
FIGURA 3 PERFIL DE ELEVACIÓN A01, A02, A03	22
FIGURA 4 PERFIL DE ELEVACIÓN A04, A05, A06, A07 Y A08	22
FIGURA 5 PERFIL DE ELEVACIÓN A09, A10, A11, A12, A13, A14 Y A15	22
FIGURA 6 PERFIL DE ELEVACIÓN PARQUE EÓLICO COMPLETO	23
FIGURA 7 CURVA DE POTENCIA GAMESA G87/2000	24
FIGURA 8 PERFIL MEDIO DIARIO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A 75M	25
FIGURA 9 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DEL VIENTO	25
FIGURA 10 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DEL VIENTO Y POTENCIA EN %	26
FIGURA 11 PRODUCCIÓN DIARIA DE ENERGÍA DE UN AEROGENERADOR GAMESA G87/2000	27
FIGURA 12 FACTOR DE POTENCIA MENSUAL	27
FIGURA 13 CÉLULA FOTOVOLTAICA	30
FIGURA 14 BUSBARS Y FINGERS EN UN PANEL SOLAR	30
FIGURA 15 TIPOS DE ESTRUCTURA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	31
FIGURA 16 PANEL FOTOVOLTAICO MONOCRISTALINO	32
FIGURA 17 PANEL FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO	33
FIGURA 18 PANEL FOTOVOLTAICO DE SILICIO AMORFO.....	33
FIGURA 19 PANEL FOTOVOLTAICO DE SILICIO CUASI-MONO	34
FIGURA 20 ESQUEMA DE PANELES DE 2BB, 5BB Y 9BB	35
FIGURA 21 COMPARACIÓN PANEL FOTOVOLTAICO NORMAL VS. PANEL FOTOVOLTAICO HALF-CELL	36
FIGURA 22 COMPARACIÓN EFECTO SOMBRA PANEL FOTOVOLTAICO NORMAL VS. PANEL FOTOVOLTAICO HALF-CUT.....	36
FIGURA 23 COMPARACIÓN CÉLULA CONVENCIONAL VS. CÉLULA PERC.....	37
FIGURA 24 COMPARACIÓN RIBBON CIRCULAR VS. RIBBON RECTANGULAR	37
FIGURA 25 ESQUEMA DE LAS CAPAS DE UNA CÉLULA CON TECNOLOGÍA HETERO JUNCTION	38
FIGURA 26 ESQUEMA DE LOS TIPOS DE INVERSORES: A) INVERSOR CENTRAL B) INVERSOR DE STRING C) MICROINVERSOR	41
FIGURA 27 CURTAILMENT (%) EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA (MWP)	49
FIGURA 28 EXCEDENTE DE ENERGÍA SEGÚN EL TAMAÑO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	50
FIGURA 29 PRODUCCIÓN TOTAL DE ENERGÍA	50
FIGURA 30 POSIBLES TERRENOS PARA LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	53
FIGURA 31 TERRENOS PROPUESTOS AGRUPADOS.....	54
FIGURA 32 AGRUPACIÓN 1	55
FIGURA 33 PERFIL DE ELEVACIÓN N-S AGRUPACIÓN 1.....	55
FIGURA 34 PERFIL DE ELEVACIÓN E-O AGRUPACIÓN 1	55
FIGURA 35 AGRUPACIÓN 2	56
FIGURA 36 PERFIL DE ELEVACIÓN N-S AGRUPACIÓN 2.....	56
FIGURA 37 PERFIL DE ELEVACIÓN E-O AGRUPACIÓN 2	56
FIGURA 38 AGRUPACIÓN 3	57
FIGURA 39 PERFIL DE ELEVACIÓN N-S AGRUPACIÓN 3.....	57
FIGURA 40 PERFIL DE ELEVACIÓN E-O AGRUPACIÓN 3	57
FIGURA 41 SELECCIÓN DE PARCELAS DEL CATASTRO	60
FIGURA 42 EVOLUCIÓN DEL OPEX SEGÚN LA INFLACIÓN.....	63
FIGURA 43 EVOLUCIÓN DE LAS TASAS DE CAPTURA DE SOLAR Y EÓLICA.....	64
FIGURA 44 EVOLUCIÓN DE LOS INGRESOS DE LA HIBRIDACIÓN	65
FIGURA 45 FLUJO DE CAJA	66
FIGURA 46 TIR Y VAN DE LA INVERSIÓN	66
FIGURA 47 ESTADO ACTUAL DE LOS TERRENOS ELEGIDOS PARA LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	67
FIGURA 48 SITUACIÓN DE LOS TERRENOS FRENTE AL PARQUE EÓLICO.....	73
FIGURA 49 FLUJO DE CAJA DE LA INVERSIÓN 2023 - 2053	74
FIGURA 50 BENEFICIOS DE LA HIBRIDACIÓN 2024 - 2053.....	74

1. Energía eólica

1.1. Conceptos básicos

La energía eólica es la energía que proviene del viento. La energía cinemática del viento es captada por las palas del aerogenerador y se transforma en energía mecánica en el rotor. A través del generador, esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica.

La energía eólica es una fuente de energía renovable, es decir, no contaminante e inagotable. Es una de las tecnologías más efectivas para combatir el cambio climático y reducir el uso de combustibles fósiles y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero [IBEE22].

Existen dos tipos de energía eólica: energía eólica terrestre u *onshore* y energía eólica marina u *offshore*. Los parques eólicos terrestres se encuentran en tierra y aprovechan el viento de las grandes estepas. Se encuentran relativamente cerca de los puntos de transmisión de la red eléctrica. Sin embargo, los parques eólicos *offshore* se benefician de las fuertes corrientes de aire que se dan en alta mar, pero están más lejos de la red eléctrica [REPS22].

1.2. Estructura y funcionamiento de un aerogenerador

Los aerogeneradores son los dispositivos de alta tecnología que se utilizan para la transformación de la energía cinética del viento a energía eléctrica. Los aerogeneradores constan de los siguientes elementos:

- Rotor, compuesto de las palas, el buje, y el cono.
- Sistema de orientación, veleta y anemómetro.
- Góndola, en cuyo interior se encuentran el freno, eje lento, el multiplicador, el eje rápido, y el generador.
- Torre.
- Transformador.
- Cableado.

Estos elementos quedan representados en la siguiente ilustración:

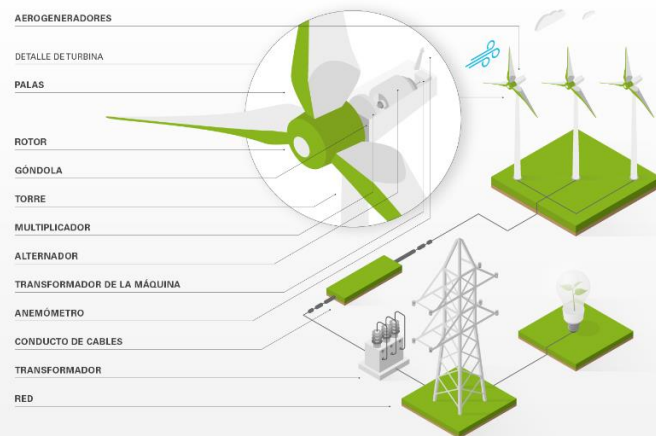


Figura 1 Estructura de un aerogenerador [ENGP22]

El aerogenerador presenta una veleta y un anemómetro que permite ajustar la dirección del rotor para optimizar la producción de energía. El viento hace girar las palas, que están fabricadas con materiales ligeros y resistentes, como poliéster o epoxy reforzado con fibra de vidrio como componente principal con refuerzos de fibra de carbono o Kevlar. Además, las palas giran sobre su eje para obtener su mayor resistencia. Las palas empiezan a moverse con vientos de 3,5 m/s aproximadamente hasta los 25 m/s. Si se supera esta velocidad, las palas del aerogenerador se ponen en bandera disminuyendo la resistencia al viento para frenar la rotación. La potencia máxima se obtiene con vientos de alrededor de 11 m/s.

Las palas se ajustan al buje, que hace girar el eje lento a la misma velocidad de las palas. Para producir electricidad, se debe aumentar la velocidad de giro a través del multiplicador seguido de un eje rápido. El multiplicador eleva la velocidad de giro del eje rápido hasta más de 100 veces la del eje lento. El eje rápido está conectado al generador, que transforma la energía cinética en energía eléctrica.

La evacuación de la energía eléctrica se lleva a cabo por el interior de la torre hasta llegar al transformador, donde se eleva la tensión para transportar la energía a la subestación eléctrica, donde se vuelve a elevar para incorporarla a la red eléctrica [ACCI22].

1.3. Parque eólico

1.3.1. Introducción

El proyecto consiste en realizar la hibridación de un parque eólico con una planta solar fotovoltaica. Por tanto, es necesario estudiar cuáles son las condiciones idóneas para optimizar

la producción de energía de la planta solar fotovoltaica, puesto que el parque eólico ya está instalado.

Las condiciones principales que deben reunirse para obtener una mayor producción de energía y un mayor rendimiento son principalmente que la zona tenga buena insolación, pero que las temperaturas no sean muy altas, puesto que disminuye el rendimiento de los paneles solares.

Por esta razón, se escoge el parque eólico Los Morrones en la provincia de Granada. Esta zona, situada al sur de la península ibérica cuenta con gran insolación, entre las 2.800 y 3.000 horas de insolación anuales [IGNI22]. Además, el parque se localiza en las inmediaciones de la sierra de Baza, a una altura de entre 1.000 metros y 1.100 metros, por lo que las temperaturas no son tan altas como para afectar potencialmente al rendimiento de los paneles solares [IGNT22], de media alrededor de 13°C.

1.3.2. Descripción del parque eólico

El parque eólico Los Morrones está situado entre los municipios de Baza y Zújar, en la provincia de Granada. Este parque cuenta con 15 aerogeneradores Gamesa G87/2000. Por tanto, el parque cuenta con una potencia nominal de 30 MW.

Las características del parque se recogen en la siguiente tabla:

Parque Eólico Los Morrones	
Potencia Nominal	30 MW
Aerogeneradores	15 x G87/2000 (HH 78m)
Subestación	20/66 kV
Líneas de transmisión de alto voltaje	66 kV

Tabla 1 Características principales del parque eólico Los Morrones [JAND04]

Cada aerogenerador cuenta con un transformador 0,69/20 kV para elevar la tensión al salir del aerogenerador. Se transmite hasta la subestación Los Morrones, donde la tensión se vuelve a elevar mediante un transformador 20/66 kV con potencia nominal 42 MVA para ser acoplada a la red eléctrica.

1.3.3. Localización del parque eólico

El parque eólico se encuentra en la provincia de Granada y cuenta con 15 aerogeneradores de 2 MW. La localización de cada uno de los aerogeneradores y de la subestación eléctrica se muestran en el siguiente mapa.

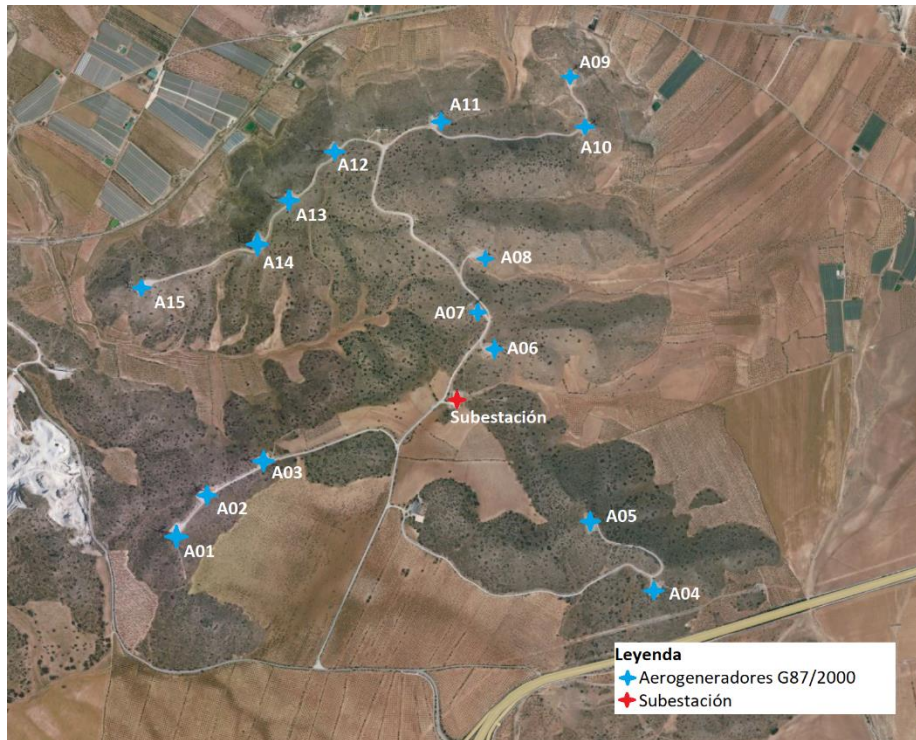


Figura 2 Mapa del parque eólico Los Morrones

Como se puede observar en la ilustración, la subestación eléctrica se encuentra aproximadamente en el centro del parque eólico para que la distancia de transporte de la electricidad desde los aerogeneradores hasta ésta sea similar. Esta subestación va a ser la misma que sirva como punto de evacuación para la planta solar fotovoltaica cuando se plantee la hibridación. Por tanto, será de especial importancia al escoger la localización de la planta fotovoltaica.

La producción de los aerogeneradores dependerá de la velocidad del viento, y consecuentemente, de la altura a la que se encuentren los aerogeneradores. Para ello, se estudian los perfiles de altura de los aerogeneradores utilizando la herramienta Google Earth Pro. En la siguiente tabla, se recoge la altitud exacta de los aerogeneradores.

Aerogeneradores	Altitud (m)
A01	1.115
A02	1.109
A03	1.087
A04	1.110
A05	1.146
A06	1.093
A07	1.097
A08	1.092
A09	1.047
A10	1.077

Aerogeneradores	Altitud (m)
A11	1.080
A12	1.078
A13	1.073
A14	1.081
A15	1.049

Tabla 2 Altitud de los aerogeneradores

Por tanto, como se puede apreciar en la tabla anterior, existen diferencias significativas entre las alturas de los aerogeneradores. Para demostrar la disparidad entre las alturas de los aerogeneradores, se representan a continuación los perfiles de elevación.

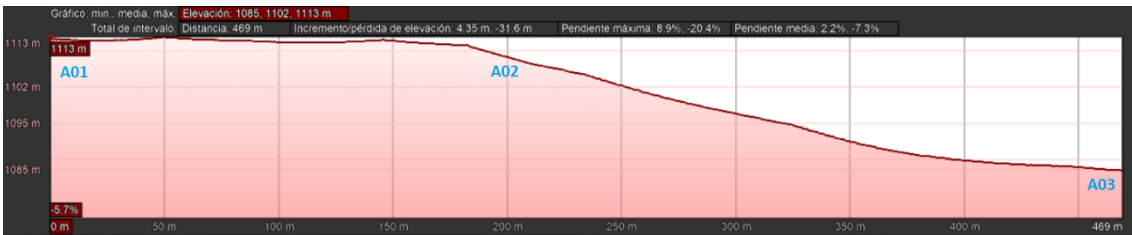


Figura 3 Perfil de elevación A01, A02, A03

Se comprueba que los aerogeneradores A01 y A02 se encuentran a alturas similares pero el aerogenerador A03 está considerablemente más bajo.



Figura 4 Perfil de elevación A04, A05, A06, A07 y A08

Los aerogeneradores A04, A06, A07, A08 están aproximadamente al mismo nivel, mientras que el aerogenerador A05 destaca por encima.



Figura 5 Perfil de elevación A09, A10, A11, A12, A13, A14 y A15

Los aerogeneradores A10, A11, A12, A13 y A14 están situados a unos niveles de altura parecidos. Los dos aerogeneradores de los extremos, A09 y A15, están a una altura más baja.



Figura 6 Perfil de elevación parque eólico completo

Finalmente, si se representa el perfil de elevación del parque eólico al completo con todos los aerogeneradores, se pueden apreciar mejor las diferencias entre las alturas a las que se encuentran los distintos aerogeneradores. Esto se debe a que los aerogeneradores están instalados en una serie de colinas con desniveles irregulares, por lo que la altura entre ellos difiere. Como se puede observar en el perfil de elevación anterior, existen diferencias de hasta 100 metros aproximadamente entre el aerogenerador más alto, A05, y el aerogenerador más bajo, A09. Teniendo en cuenta que la producción de energía de un aerogenerador depende del cubo de la velocidad del viento, y el viento depende de la altura, los niveles de producción entre aerogeneradores van a ser diferentes.

1.3.4. Características de los aerogeneradores

El parque eólico Los Morrones dispone de 15 aerogeneradores Gamesa G87/2000 que suman una capacidad total de 30MW. Las propiedades de los aerogeneradores instalados en el parque eólico Los Morrones se recogen en la siguiente tabla:

Propiedades de los aerogeneradores	
Modelo de turbina eólica	Gamesa G87-2.0 MW
Potencia (MW)	2
Altura de buje (m)	78
Diámetro (m)	87
Área de barrido (m ²)	5.945
Velocidad de rotación (rpm)	9,0 – 19,0
Densidad de potencia (m ² /kW)	2,98
Número de palas	3

Tabla 3 Propiedades de los aerogeneradores

A continuación, se representa la curva de potencia de los aerogeneradores Gamesa G87/2000, seguida de una tabla con las velocidades del viento características.

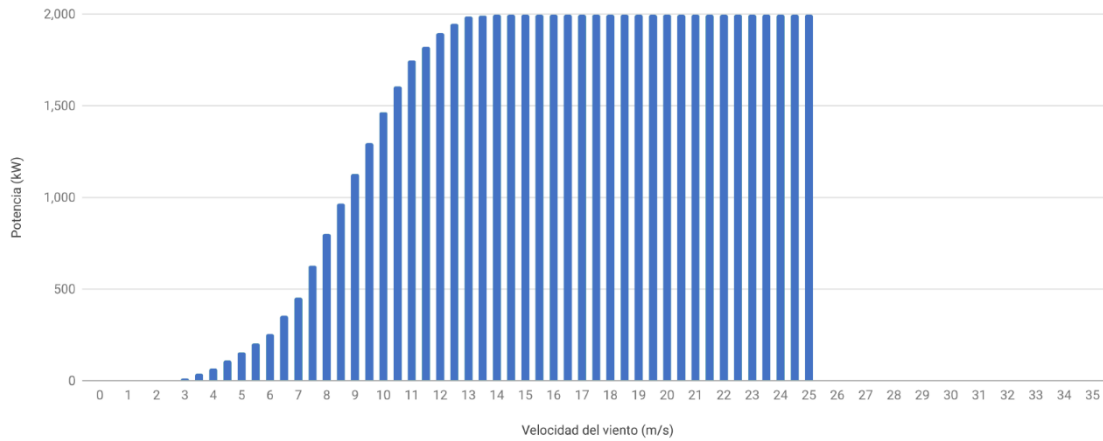


Figura 7 Curva de potencia Gamesa G87/2000

Velocidades características	
Velocidad de conexión (m/s)	3
Velocidad nominal (m/s)	14
Velocidad de corte (m/s)	25

Tabla 4 Velocidades características del viento

1.3.5. Análisis del viento

Para obtener las propiedades que describen el comportamiento del viento en el parque eólico de estudio se utiliza Windnavigator. A través de esta plataforma se han obtenido los siguientes resultados:

Análisis de viento		
Velocidad media del viento a 80m (m/s)	7,51	
Rugosidad (α)	0,85	
Densidad del aire (kg/m ³)	1,089	
Densidad de potencia media (W/m ²)	484	
Weibull	A (m/s)	8,46
	k	1,43

Tabla 5 Análisis de viento

Para determinar el perfil medio diario de la velocidad del viento se ha utilizado el Mapa Eólico Ibérico de alta resolución del CENER. De esta forma, se han obtenido los datos para representar el perfil medio diario de la velocidad del viento a una altura de 75 metros, que es la que más se acerca a la altura de buje de los aerogeneradores.

Perfil medio diario de la velocidad del viento a 75m

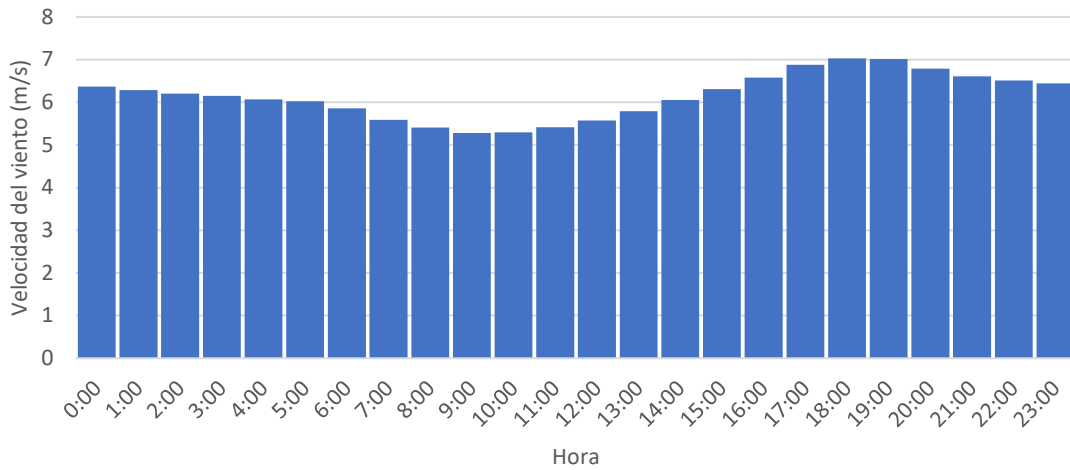


Figura 8 Perfil medio diario de la velocidad del viento a 75m

A continuación, en el gráfico, se presenta la distribución de frecuencias para las distintas velocidades del viento. De esta forma, se aprecia como una parte del viento con velocidades más bajas no va a ser aprovechada por la turbina puesto que no tiene la velocidad mínima necesaria para que empiece a funcionar. Estas velocidades, por debajo de los 3 m/s, corresponden a un 14,5%. Por otra parte, los vientos que superan la velocidad de corte, de 25 m/s, son muy poco comunes, correspondiendo al 2,4%.

Distribución de frecuencias del viento

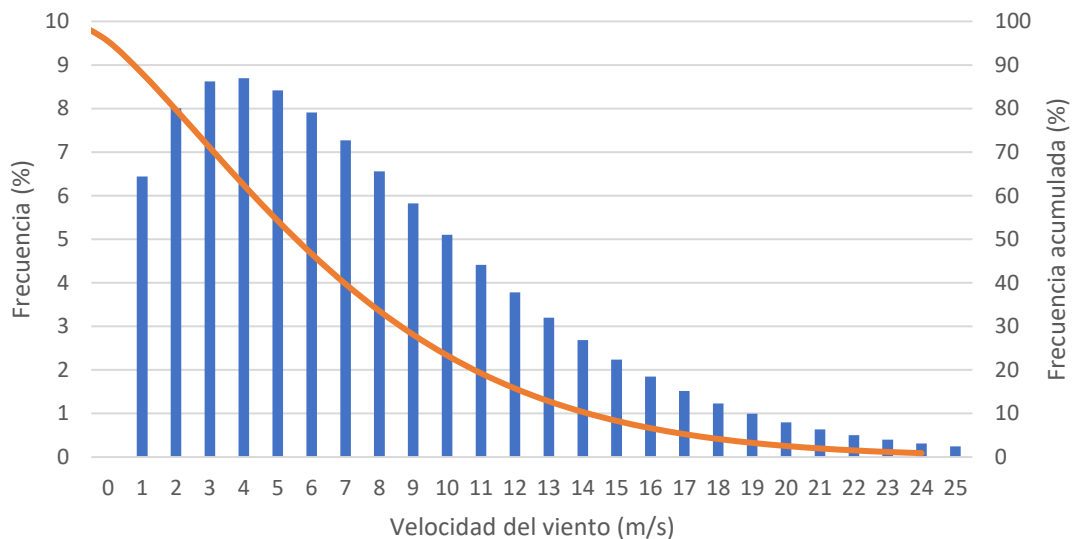


Figura 9 Distribución de frecuencias del viento

Utilizando la base de datos del Global Wind Atlas [GWAT22], se han obtenido los datos para estudiar las direcciones principales que toma el viento y la potencia extraída. Los resultados obtenidos se muestran en los siguientes gráficos. Se comprueba que el oeste es la dirección del viento dominante, de la que se extrae la mayor potencia. También hay vientos considerables en dirección sureste, pero de los que apenas se extrae potencia.

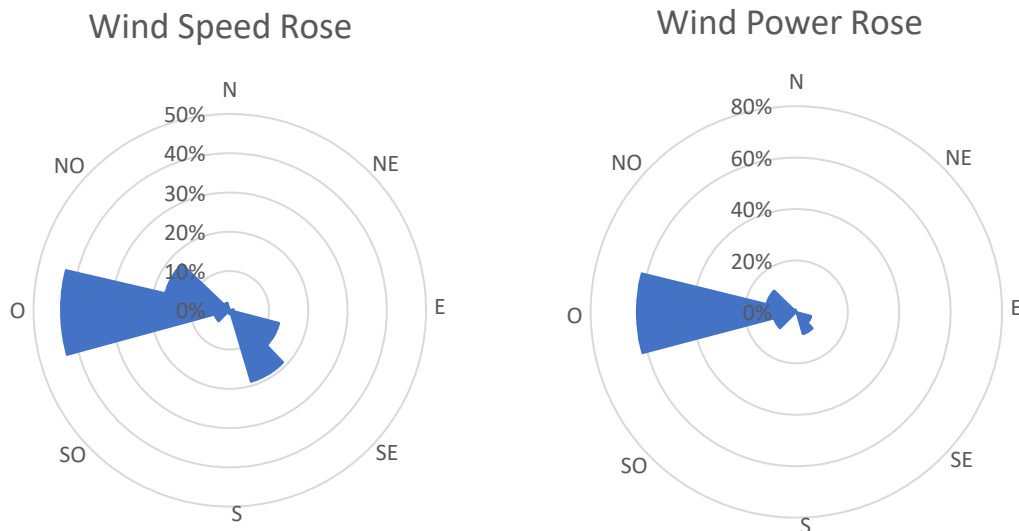


Figura 10 Distribución de frecuencia del viento y potencia en %

1.3.6. Análisis de la producción del parque eólico

El análisis de la producción de energía del parque eólico es de especial interés, ya que, dependiendo de la producción de éste y las horas equivalentes, se estimará el tamaño de la planta solar fotovoltaica para realizar la hibridación. Para ello, se hará uso del software Renewables.ninja que, con el modelo de aerogenerador, su potencia, la geolocalización y una altura determinada, en este caso, la altura de buje, realiza una estimación sobre la producción de energía durante todos los días del año. Además, como no se dispone de la información necesaria sobre la disponibilidad, se asume una disponibilidad del 98%, que se corresponde con la disponibilidad media de las turbinas en la última década según Siemens Gamesa [SIEM22].

Por tanto, para un aerogenerador Gamesa G87/2000 y una altura de 78 metros y disponibilidad del 98%, se ha obtenido la siguiente producción diaria de energía representada en el gráfico:

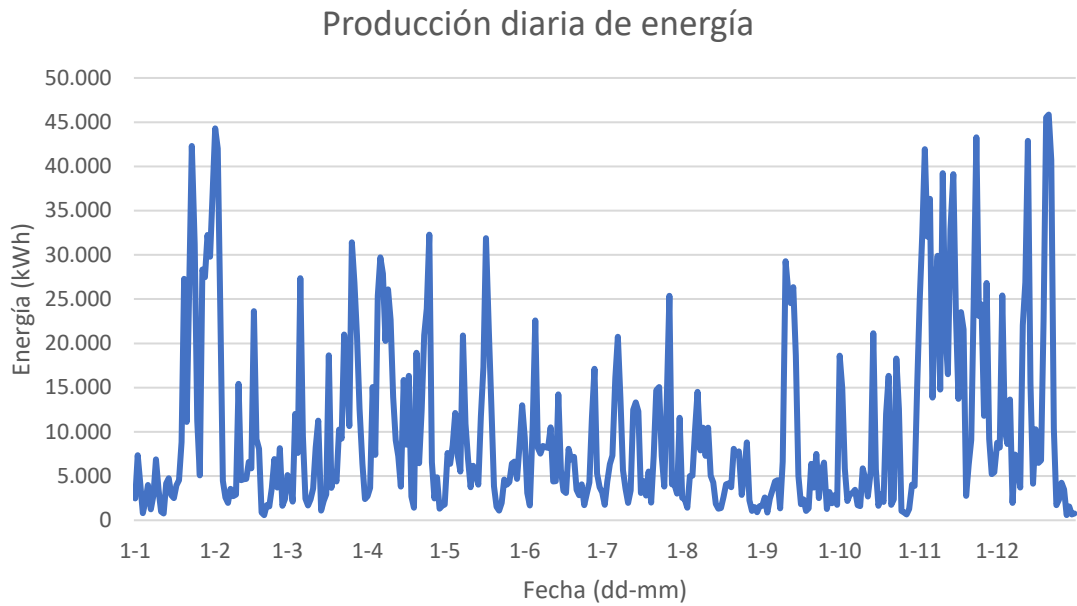


Figura 11 Producción diaria de energía de un aerogenerador Gamesa G87/2000

A partir de los datos de producción de energía, se puede calcular el factor de capacidad del parque eólico. Como los datos de viento son variables según la época, se representa en el siguiente gráfico el factor de capacidad mensual. Los meses con mayor producción de energía son noviembre, diciembre y abril. Posteriormente, se calcula la densidad de energía y el número de horas equivalentes del parque eólico.

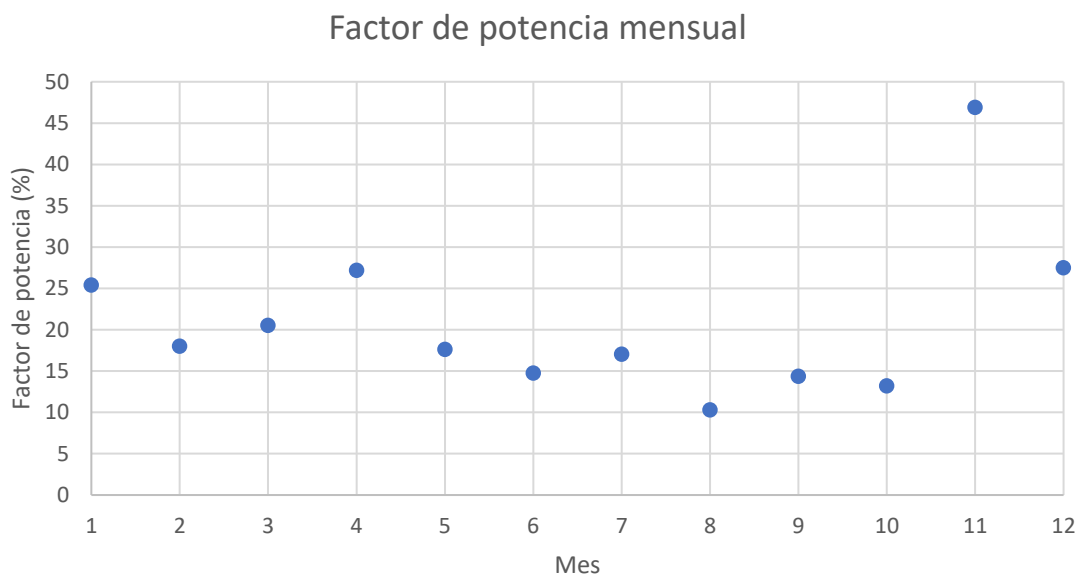


Figura 12 Factor de potencia mensual

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos sobre la producción de energía del parque eólico Los Morrones.

Producción de Energía Parque Eólico Los Morrones	
Producción bruta (MWh/año)	55.352,42
Densidad de energía (kWh/(m² año))	620,75
Factor de capacidad (%)	21,06
Horas equivalentes	1.845,08

Tabla 6 Producción de energía del parque eólico

2. Energía solar fotovoltaica

2.1. Conceptos básicos

La energía solar fotovoltaica es aquella que proviene de la luz del sol y se utiliza para generar electricidad a través de paneles solares. Esta tecnología se basa en el efecto fotoeléctrico: en los paneles solares se absorben fotones de la luz del sol y se liberan electrones, produciéndose una diferencia de potencial que genera una corriente eléctrica [ACCI20].

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable y no contaminante, puesto que no genera sustancias tóxicas para el medio ambiente. Junto con la eólica, es una de las tecnologías más limpias para combatir el cambio climático y reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Además, se trata de una energía inagotable, puesto que el recurso solar siempre va a estar disponible. Con la implementación de baterías y sistemas de almacenamiento de energía, la energía solar va a ser determinante en el futuro [IBES22].

2.2. Funcionamiento y estructura de los paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos son los dispositivos principales para la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Los paneles están hechos de materiales semiconductores, que transforman la energía a través de células solares.

Las células fotovoltaicas están formadas por materiales semiconductores, uno de tipo P y otro de tipo N. El semiconductor de tipo P consiste principalmente en silicio dopado con pequeñas cantidades de elementos trivalentes de la tabla periódica. Por otro lado, el semiconductor de tipo N consiste en silicio dopado con elementos pentavalentes. Cuando se junta un semiconductor tipo P con un tipo N, se forma una unión PN, donde los electrones sobrantes del semiconductor tipo N se desplazan al semiconductor tipo P y los huecos sobrantes del semiconductor tipo P se desplazan al semiconductor tipo N.

Este movimiento de partículas provoca una acumulación de electrones en el semiconductor tipo N y de huecos en el semiconductor tipo P. De esta forma, se crea una diferencia de potencial que dará lugar a una corriente eléctrica a través de la carga [MAST13]. Como esta diferencia de potencial es pequeña, las células fotovoltaicas se asocian en serie, formando paneles solares. Los más comunes son de 60 o 72 células.

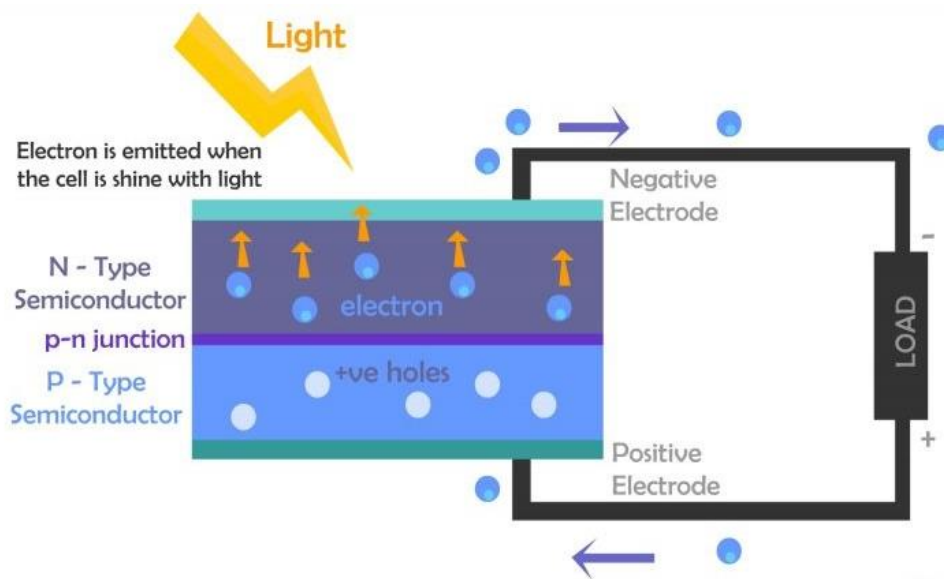


Figura 13 Célula fotovoltaica [GRSA17]

Para captar la corriente eléctrica se dispone de *fingers* y *BusBars*. Los *fingers* son caminos metálicos que conducen la corriente continua hacia los *BusBars*, que evacuan esta corriente hacia el inversor para posteriormente convertirla en corriente alterna. Generalmente, cuanto mayor sea el número de *BusBars*, mayor será la eficiencia de un panel fotovoltaico, pues se reduce la longitud de los *fingers*, y consecuentemente, las pérdidas por resistencia de los *fingers* [NOSO17].



Figura 14 Busbars y fingers en un panel solar [ASIC22]

Una vez conocido el funcionamiento de los paneles fotovoltaicos, también es determinante conocer la estructura sobre la que serán instalados. Existen diferentes tipos, principalmente estructuras fijas y móviles.

Las estructuras fijas son las más sencillas puesto que solo es necesario fijarlas a un ángulo de inclinación determinado en función del lugar de instalación, en concreto, su latitud, para optimizar la incidencia de la luz y la producción de energía. En el hemisferio norte, los paneles fotovoltaicos deberán estar orientados hacia el sur, mientras que, en el hemisferio sur, los paneles deberán estar orientados hacia el norte.

Como las estructuras son fijas y no requieren de ninguna tecnología más compleja, son estructuras baratas y de fácil mantenimiento en comparación con las estructuras móviles.

Las estructuras móviles son estructuras que rastrean la posición del sol a lo largo del día y van rotando en función del sol. Estas estructuras se denominan seguidores o “trackers”. Existen *trackers* de un solo eje o de dos ejes. Los *trackers* de dos ejes rastrean el sol según los ángulos de elevación y de azimut de manera que el panel fotovoltaico esté siempre enfocado directamente hacia el sol. Estos *trackers* pueden aumentar entre un 40% y un 50% la producción de energía en comparación con un panel fotovoltaico de estructura fija. Por otro lado, los *trackers* de un solo eje solo ajustan uno de los dos ángulos de elevación o azimut [MAST13]. Estos *trackers* pueden aumentar alrededor de un 15% la producción de energía comparado con un panel fotovoltaico fijo.

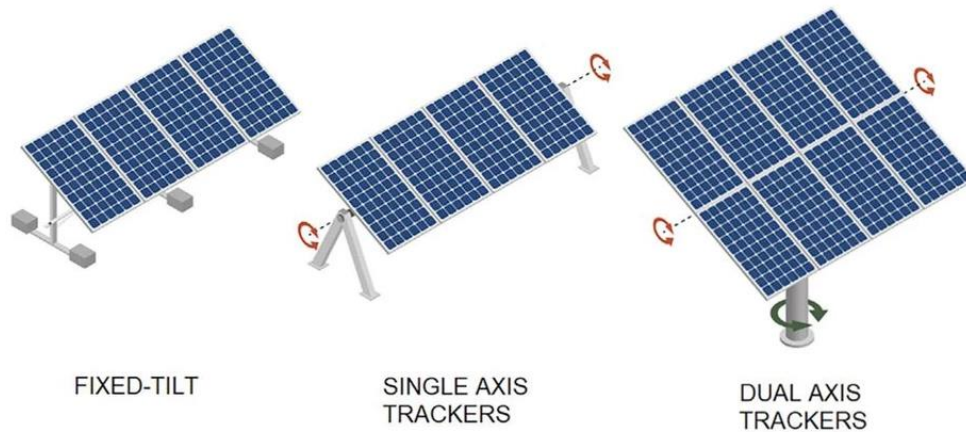


Figura 15 Tipos de estructura de paneles fotovoltaicos [RENE21]

Es importante valorar que tipo de estructuras son más convenientes para la planta solar fotovoltaica ya que, las estructuras móviles ofrecen una mayor captación de radiación y por tanto, una mayor producción de energía a cambio de unos costes de instalación y mantenimiento mayores que las estructuras fijas, que generarán menos energía.

2.3. Tipos de paneles solares fotovoltaicos

A continuación, se van a presentar los diferentes tipos de paneles solares para posteriormente realizar la valoración de qué paneles solares serán los más adecuados para realizar la hibridación.

2.3.1. Tipos de paneles según el material

Existen diversos materiales para la fabricación de paneles solares fotovoltaicos. Desde su comienzo, la industria fotovoltaica ha estado dominada por el uso del silicio. Sin embargo, últimamente están surgiendo nuevos compuestos de varios elementos para desarrollar paneles solares como el arseniuro de galio (GaAs), el telururo de cadmio (CdTe) o el CIGS.

2.3.1.1. Silicio

Como se ha comentado anteriormente, el silicio es el material más común para fabricar paneles solares fotovoltaicos. Dependiendo de la estructura cristalina del silicio, se distinguen tres tipos: silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo.

2.3.1.1.1. Silicio monocristalino

El silicio monocristalino se comenzó a utilizar para fabricar los primeros paneles fotovoltaicos. Poseen un color negro y las celdas tienen bordes redondeados. Las células de silicio monocristalino requieren procesos de producción lentos y con un gran coste energético. Debido a la estructura cristalina, estos paneles alcanzan mayores eficiencias que los policristalinos, de entre 16% y 19% [GERM22]. Como requieren mayores cantidades de silicio y un procesado más complejo, su precio es superior al de los paneles policristalinos. Su uso se recomienda en lugares donde la insolación es menor para alcanzar mayores rendimientos. El aspecto de un panel de silicio monocristalino se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 16 Panel fotovoltaico monocristalino [OLPV22]

2.3.1.1.2. Silicio policristalino

El silicio policristalino se empezó a trabajar a finales del siglo XX, mucho más tarde que el monocristalino. El proceso de fabricación es más rápido, ya que la estructura cristalina y posición de los granos de silicio no es relevante. Además, se usa menos material por lo que resulta más económico. Sin embargo, la irregularidad de los cristales causa menores eficiencias en este tipo de paneles, de entre el 15% y el 17%. Como se puede apreciar en la siguiente imagen, los paneles policristalinos adquieren un color azul oscuro [POWE21]:

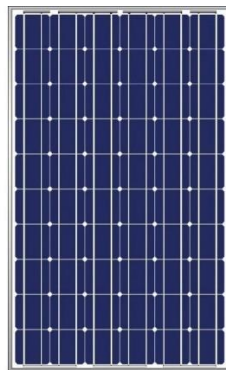


Figura 17 Panel fotovoltaico policristalino [SIAL22]

2.3.1.1.3. Silicio amorfo

Los paneles fotovoltaicos de silicio amorfo solo necesitan una fina capa de silicio, generando un panel más flexible. Por esta razón, el coste de fabricación es mucho menor que los paneles monocristalinos o policristalinos. Sin embargo, las eficiencias son mucho menores, por debajo del 10%, y se necesitará mucha más superficie para alcanzar un rendimiento similar al que tendría con otros paneles. Por tanto, aumentarán los costes de instalación, cableado etc. Estos paneles presentan un aspecto homogéneo. Se producen a partir de láminas donde solo se pueden distinguir unas tiras dividiendo las celdas fotovoltaicas unidas en la fabricación del panel [GERM22].



Figura 18 Panel fotovoltaico de silicio amorfo [TIEN22]

2.3.1.1.4. Silicio cuasi-mono

El silicio cuasi-mono es una combinación entre el monocristalino y el policristalino. Los paneles fotovoltaicos de silicio cuasi-mono aumentan la eficiencia de los policristalinos mediante un proceso de fundición de bajo coste. Usando una célula monocristalina como semilla, se realiza un control muy específico de la temperatura del proceso que da lugar a una célula cuadrada monocristalina con partes policristalinas [ANSC12]. El aspecto de estas células se puede ver en la siguiente imagen:

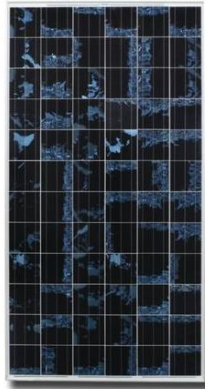


Figura 19 Panel fotovoltaico de silicio cuasi-mono [GREE13]

2.3.1.2. Arseniuro de galio

La principal ventaja del arseniuro de galio frente al resto de materiales para fabricar paneles solares es la alta tasa de eficiencia, que alcanza el 27,2% en una célula de unión única y un 32,9% en una combinación de células en tándem [ROCA20]. Además, cuentan con una gran plasticidad que hace que se pueda adaptar a todo tipo de situaciones y gran resistencia a las temperaturas de hasta 250°C. Sin embargo, la producción de células de arseniuro de galio es muy costosa, puesto que el galio es un material limitado, mientras que el arsénico es tóxico. La maquinaria necesaria es muy compleja y necesita de tecnología específica [DSNE21].

2.3.1.3. Telururo de cadmio

Las células fotovoltaicas de telururo de cadmio se han convertido en las más usadas por detrás de las células de silicio. Los paneles de telururo de cadmio cuentan con una eficiencia de aproximadamente un 18%. Tienen una gran absorción de luz solar y una producción de bajo coste que permite producir módulos fotovoltaicos en cuestión de horas [OET22].

2.3.1.4. CIGS

CIGS es un material formado por cobre, indio, galio y selenio con propiedades semiconductoras. Esta tecnología cuenta con buenas propiedades ópticas y electrónicas. Aunque la eficiencia de este tipo de células ha llegado a alcanzar el 20% en experimentación en laboratorios, los módulos comerciales oscilan entre el 12% y el 14%. Existen diversos métodos de fabricación, siendo los más comunes la coevaporación y la reacción de precursores [OEEC22].

2.3.2. Paneles fotovoltaicos monofaciales o bifaciales

Existen dos tipos principales de paneles fotovoltaicos dependiendo de la superficie por la que captan la radiación solar. Los paneles monofaciales solo captan radiación solar por una de las caras superficiales mientras que los paneles bifaciales captan radiación por ambas caras superficiales. Pueden ser tanto monocristalinos como policristalinos.

Los paneles bifaciales, por tanto, cuentan con una eficiencia mucho más alta que los paneles monofaciales, de hasta un 30% más, ya que además de captar la radiación directa, captan la radiación difusa y la radiación reflejada. Es por esto que interesa instalar paneles fotovoltaicos bifaciales sobre superficies con alta reflectancia solar, como superficies cristalinas [DESO22].

2.3.3. Otras tecnologías

2.3.3.1. Multi BusBar (MBB)

Un BusBar es una tira adherida a los paneles solares que conduce la electricidad para transferirla al inversor para luego transformar la corriente continua en corriente alterna.

Una de las ventajas del MBB es que cuántos más BusBars, circula menos corriente a través de los *fingers*, por lo que se reducen las pérdidas resistivas. Por tanto, mejora la eficiencia total de los paneles fotovoltaicos, además de reducir las posibilidades de que aparezcan microrroturas. Los más comunes son 2BB, 5BB y 9BB.



Figura 20 Esquema de paneles de 2BB, 5BB y 9BB [NOSO20]

2.3.3.2. Half-Cut o Half-Cell

Los paneles fotovoltaicos Half-Cell, también conocidos como paneles Half-Cut, usan el mismo método de producción y la misma tecnología que los paneles más comunes de silicio cristalino. Sin embargo, las células se cortan por la mitad, de forma que célula entrega la misma tensión, pero la mitad de la intensidad.

De esta forma, un panel fotovoltaico Half-Cell cuenta con el doble de células en la misma superficie que un panel normal. El módulo se divide en dos partes iguales, con la caja de conexiones entre las dos partes.

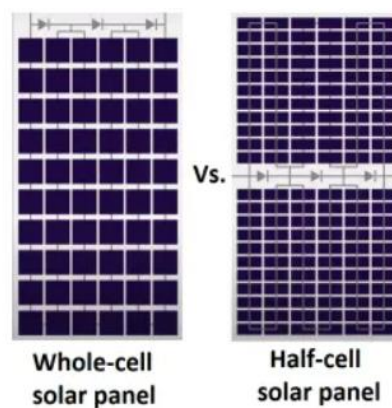


Figura 21 Comparación panel fotovoltaico normal vs. panel fotovoltaico Half-Cell

Los paneles fotovoltaicos Half-Cut reducen las pérdidas eléctricas frente a los paneles de silicio cristalino puesto que la corriente es menor. Otro de los beneficios más favorables es la reducción de los efectos de la aparición de sombras. Como se puede comprobar en la imagen inferior, los paneles Half-Cut incluyen el doble de cableado conectando las células con la caja de conexiones. Por tanto, si se producen sombras en parte del panel, solo afectará a la mitad de células en un panel normal, minimizando las pérdidas.

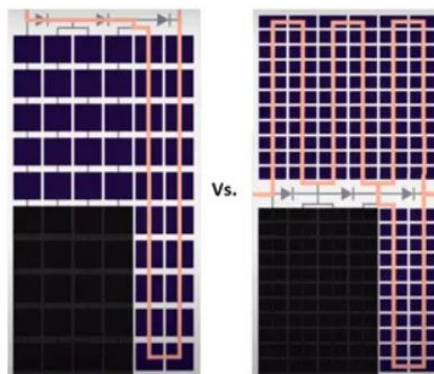


Figura 22 Comparación efecto sombra panel fotovoltaico normal vs. panel fotovoltaico Half-Cut [SOMA22]

2.3.3.3. PERC (Passive Emitter and Rear Contact)

La tecnología PERC consiste en añadir una capa adicional debajo de las células fotovoltaicas que refleje la luz solar, de manera que las células vuelvan a captar la radiación, aumentando así la generación de energía. Este método permite mejorar la eficiencia energética de los paneles solares [SUNP22].

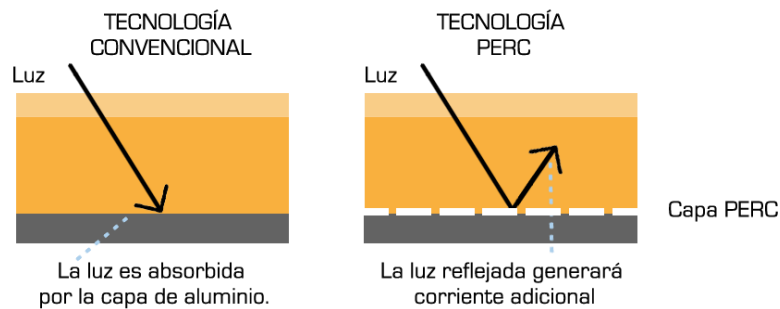


Figura 23 Comparación célula convencional vs. célula PERC [AESO20]

2.3.3.4. Tiling Ribbon

La tecnología Tiling Ribbon es un método desarrollado por la compañía Jinko Solar que consiste en eliminar los huecos entre las células fotovoltaicas para aumentar la eficiencia del módulo solar. Además, Jinko ha creado un *ribbon* circular de manera que refleje los fotones entrantes a la célula fotovoltaica. La comparación entre un módulo normal con 5 BusBars y el módulo de Jinko se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 24 Comparación Ribbon circular vs. Ribbon rectangular [JINK20]

2.3.3.5. Hetero Junction

La tecnología Hetero Junction realiza una combinación de tecnologías que ya se han visto previamente: se trata de una célula de silicio cristalino entre dos capas final de silicio amorfo.

Como se explicó anteriormente, en la lámina de silicio amorfo, los átomos no siguen ninguna estructura, sino que se colocan aleatoriamente.

Esto conlleva los siguientes beneficios en las células con tecnología Hetero Junction. Al usar parte de silicio amorfo, se reducen los costes de producción puesto que es el silicio más barato. Además, la célula se beneficia de las dos capas de silicio amorfo para captar más radiación solar, ya que capta fotones antes de que luz pase a la capa cristalina y los que la traspasan, mejorando la eficiencia. Las células con Hetero Junction en el mercado presentan una eficiencia de entre 19,9% y 21,8%. También funcionan mejor a altas temperaturas [AESO22].

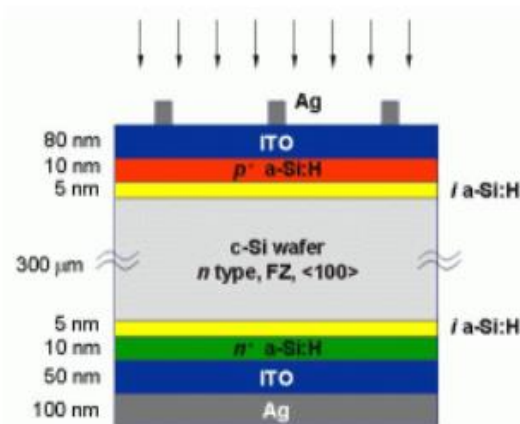


Figura 25 Esquema de las capas de una célula con tecnología Hetero Junction [BOCC22]

2.3.3.6. Double Glass (Doble Vidrio)

La tecnología Double Glass o Doble Vidrio consiste en cubrir los paneles fotovoltaicos con un cristal que ofrece protección eléctrica y medioambiental. El cristal protege el panel de tensiones físicas como pueden ser microrroturas provenientes del viento, acumulaciones de nieve, etc. También del polvo o de la humedad. Debido a esta protección que ofrece el cristal, la degradación del panel a lo largo se reduce exponencialmente, dando lugar a paneles más duraderos, de hasta 30 años [SINO22].

2.4. Estudio de los paneles solares fotovoltaicos

Una vez se conocen los distintos materiales y tecnologías que pueden integrar los paneles fotovoltaicos, es necesario realizar un estudio para escoger los más adecuados para realizar la hibridación. Como existen diversas empresas que fabrican y comercializan paneles fotovoltaicos, en este estudio se van a usar cinco de los proveedores incluidos en el ranking de Bloomberg New

Energy Finance (BNEF) Tier 1: Trina Solar, Longi, Jinko, JA Solar y Canadian Solar. Todos los paneles considerados en este estudio están recogidos en el Anexo B.1 [UNIV22].

De todos los paneles que se consideran, se realiza una selección de los más adecuados basado en las siguientes conclusiones.

- Se descartan los paneles de silicio policristalino, ya que, aunque resulten más baratos, la eficiencia se ve perjudicada.
- Para optimizar el espacio que ocupará la planta solar fotovoltaica, es conveniente que los paneles escogidos tengan la mayor potencia posible ya que se necesitará menos paneles para alcanzar la potencia de la planta solar, que se determinara más adelante, y por tanto, menos terreno. Se descartarán los paneles con potencias por debajo de los 550 Wp.

Marca	Modelo	Monofacial/ Bifacial	Características	Potencia (Wp)	Eficiencia max (%)	Tamaño (mm x mm)	Peso (kg)
Trina Solar	Vertex 670W TSM-DEG21C.20	Bifacial	Bifacial Monocristalino PERC MBB	635-665	21,4	2384x1303	33,9
Trina Solar	Vertex 600W TSM-DEG20C.20	Bifacial	Bifacial Monocristalino PERC MBB	580-600	21,2	2172x1303	35,3
Jinko	Tiger Neo N-Type 72HL4-(V)	Monofacial	N-Type 72 Half Cell Monofacial SMBB	555-575	22,26	2278x1134	28
Jinko	Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV	Bifacial	N-Type 72 Half Cell Bifacial with Dual Glass SMBB	550-570	22,07	2278x1134	32
Jinko	Tiger Neo N-Type 78HL4-(V)	Monofacial	N-Type 78 Half Cell Monofacial SMBB	595-615	22	2465x1134	30,6
Jinko	Tiger Neo N-Type 78HL4-BDV	Bifacial	N Type 78 Half Cell Bifacial with Dual Glass SMBB	590-610	21,82	2465x1134	34,6
Canadian Solar	BiHiKu7 CS7N-640	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	640-665	21,4	2384x1303	37,9
Canadian Solar	BiHiKu7 CS7N-575	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	575-600	21,2	2172x1303	34,6
Canadian Solar	HiKu7 CS7L-580	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	580-610	21,6	2172x1303	31
Canadian Solar	HiKu7 CS7N-640	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	640-670	21,6	2384x1303	34,4

Tabla 7 Selección reducida de posibles paneles fotovoltaicos

De los paneles disponibles, se ha elegido el Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV de Jinko debido a las siguientes características:

- Panel bifacial para maximizar la producción de energía de la radiación directa como de los reflejos.
- Dual Glass para aumentar la resistencia del panel frente a microrroturas, protegerlo del polvo y la humedad y garantizar la máxima vida útil.
- Half Cell para reducir el efecto de las sombras sobre la producción de energía.
- SMBB para controlar las corrientes y reducir pérdidas.

Las principales propiedades del panel se recogen en la tabla inferior:

Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV	
Tipo de células	Monocristalinas Tipo N
Número de células	144 (2x72)
Tamaño	2278mm x 1134 mm x 30 mm
Peso	32 kg
Potencia máxima	570 Wp
Tensión máxima	42,29 V
Intensidad máxima	13,48 A
Eficiencia máxima	22,07 %

Tabla 8 Propiedades Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV

Por otro lado, ya que se ha escogido el panel solar fotovoltaico para la planta solar, es necesario elegir el tipo de estructura sobre la que irán montados los paneles. De las tres opciones presentadas previamente, se utilizarán estructuras móviles, en concreto, trackers de un solo eje, puesto que optimizan la captación de luz solar sin suponer un incremento excesivo en los costes. En función de la latitud y la longitud, los trackers se instalarán dirección N-S para maximizar la energía recibida.

2.5. Inversores

Los inversores fotovoltaicos son los dispositivos encargados en transformar la corriente continua procedente de los paneles solares a corriente alterna para la transmisión, almacenamiento y el consumo de energía. Además, los inversores contribuyen a optimizar la producción de energía de los paneles y a maximizar el rendimiento. Con la ayuda del inversor, se puede seleccionar la tensión de salida y el tipo de onda en función de los filtros que se usen.

Los inversores funcionan con dos modos: saturación y corte. Alternando estos dos modos, realizan una conmutación a través de un transistor que provoca una onda cuadrada. Esta onda cuadrada se puede convertir a forma y tensión deseada a través de transformadores y filtros de potencia que pueden afectar al rendimiento del inversor [ALON22].

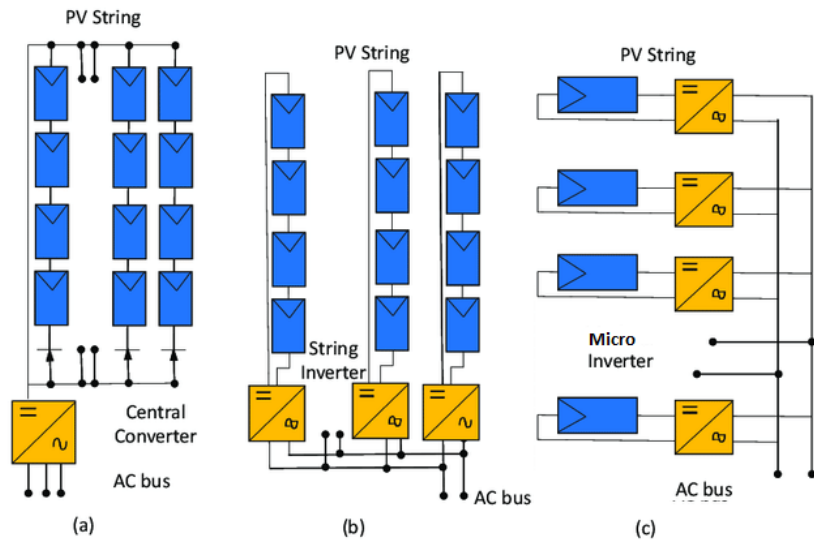


Figura 26 Esquema de los tipos de inversores: a) inversor central b) inversor de string c) microinversor [KHAN16]

2.5.1. Tipos de inversores fotovoltaicos

Existen diversos tipos de inversores fotovoltaicos: inversores centrales, en string o cadena y microinversores. En este apartado, se van a estudiar las características y el funcionamiento de éstos para determinar cuáles serán los inversores óptimos para la planta solar en función de los paneles solares elegidos.

2.5.1.1. Inversores centrales

Las plantas solares con inversor central solo necesitan un inversor de este tipo que se encarga de transformar toda la electricidad generada en la instalación de manera centralizada. Este tipo de inversor tiene varias entradas con controladores MPPTs (Maximum Power Point Tracking) que detectan el punto de máxima potencia para cada rama conectada a cada una de las entradas.

En este caso, si se producen sombras o fallos técnicos de algún tipo, estos afectarán solo a la rama que está conectada en la misma entrada del inversor. Estos inversores tienen un mantenimiento más difícil puesto que son dispositivos más grandes y complejos que requieren formación específica. Sin embargo, son los preferidos para instalaciones de gran tamaño puesto que presentan el menor coste por vatio [MISB18].

2.5.1.2. *Inversores en string o en cadena*

Los inversores en string o en cadena agrupan a una serie de paneles fotovoltaicos en serie de manera que solo se necesita un solo inversor por cada grupo de paneles solares. Los inversores en string, por norma general, tienen un buen rendimiento. Sin embargo, este tipo de inversores capta la energía del panel menos eficiente, por lo que en caso de que se produzcan sombras en algún panel de la agrupación, todo el conjunto se verá afectado y se desperdiciará energía. Por otro lado, los inversores de string son de fácil mantenimiento y bajo coste [SANZ21].

2.5.1.3. *Microinversores*

Por último, hay otra opción que son los microinversores. Esta opción consiste en que cada panel fotovoltaico tenga su propio microinversor. De esta forma, cada panel contará con su MPPT, por lo que si se produce algún fallo o sombreado sobre algún panel, el resto de la planta no se vería afectada.

Los microinversores presentan muchas ventajas, ya que, si ocurre algún problema en un panel, se puede aislar individualmente para repararlo. Sin embargo, para instalaciones de gran tamaño, los microinversores no son la mejor alternativa porque se necesita un gran número de ellos que requiere un alto coste [MAST13].

2.6. Estudio de los inversores

En función de los inversores estudiados se estudian cuatro de las principales compañías que dominan la industria de los inversores: SolarEdge, Huawei, SMA Solar Technology AG y Fronius.

Los inversores considerados para la planta fotovoltaica se recogen en una tabla en el Anexo B.2. De los tipos de inversores estudiados en el apartado anterior, se decide utilizar inversores de string o cadena puesto que aportan un balance entre las reducciones de las pérdidas cuando se produce sombreado o fallos y los costes. Como se ha mencionado antes, los microinversores conllevarían una gran inversión en el número de unidades necesarias mientras que los inversores centrales son complejos y sus fallos afectan a gran parte de la planta. La selección de inversores ha quedado reducida a las siguientes opciones recogidas en la tabla siguiente.

Marca	Modelo	Voltaje CC Máximo (V)	Potencia Nominal Activa CA (W)	Máx. Potencia Aparente de CA (VA)	Eficiencia Máxima (%)
Huawei	SUN2000-185KTL-H1	1.500	185.000	185.000	99,03
Huawei	SUN2000-100KTL-M1	1.100	100.000	110.000	98,8
Huawei	SUN2000-60KTL-M0	1.100	60.000	66.000	98,9
SolarEdge	SE66,6K	1.000	66.600	66.600	98,1
SolarEdge	SE82,8K	1.000	82.800	82.800	98,3
SolarEdge	SE100K	1.000	100.000	100.000	98,1
SMA	Sunny Highpower 100-20	1.000	100.000	100.000	98,8
SMA	Sunny Highpower 150-21	1.500	150.000	150.000	99,1
Fronius	Tauro ECO 99-3D	1.000	99.990	99.990	98,5
Fronius	Tauro ECO 100-3-D	1.000	100.000	100.000	98,5

Tabla 9 Selección reducida de posibles inversores

De los inversores seleccionados, todos cuentan con potencias nominales altas ya que cuanto mayor sea esta potencia, menor número de inversores será necesario. Por tanto, teniendo en cuenta tanto el tamaño como la eficiencia se usará el inversor Huawei SUN2000-185KTL-H1. Este inversor cumple con las especificaciones necesarias de los paneles fotovoltaicos. Además, cuenta con dispositivos de desconexión en el lado de continua, protecciones contra sobretensiones, sobreintensidad, funcionamiento en isla y polaridad inversa y monitorización de fallos. Las especificaciones técnicas de este inversor se recogen en la tabla 10.

Huawei SUN2000-185KTL-H1	
Eficiencia	
Eficiencia máxima	99,03 %
Eficiencia europea	98,69 %
Entrada	
Tensión de entrada máxima	1.500 V
Intensidad por MPPT máxima	26 A
Intensidad de cortocircuito por MPPT máxima	40 A
Tensión de entrada inicial	550 V
Rango de tensión de operación de MPPT	500 V – 1.500 V
Tensión nominal de la entrada	1.080 V
Número de entradas	18
Número de MPPTs	9
Salida	
Potencia nominal activa de CA	185.000 W a 25°C, 175.000 W a 40°C
Potencia aparente máxima de CA	185.000 VA
Potencia activa máxima de CA	185.000 W
Tensión nominal de salida	800 V
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad de salida nominal	134,9 A a 25°C, 126,3 A a 40°C
Intensidad de salida máxima	134,9 A
Factor de potencia ajustable	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
Distorsión armónica total máxima	< 3%

General	
Dimensiones	1035 x 700 x 365 mm
Peso	84 kg
Rango de temperaturas de operación	-25°C – 60°C
Altitud de operación	4.000 m
Humedad relativa	0 – 100%
Clase de protección	IP66
Topología	Sin transformador

Tabla 10 Especificaciones técnicas Huawei SUN2000-185-KTL-H1[HUAW22]

3. Hibridación

3.1. Conceptos básicos

El concepto de hibridación consiste en la generación de energía a partir de dos o más fuentes, normalmente fuentes de energía renovable. En este caso, se trata de energía eólica y energía solar. Una planta de generación híbrida se puede crear desde cero o puede hibridarse una planta ya existente, añadiendo un nuevo módulo de generación diferente. La ventaja de las plantas hibridadas es el aprovechamiento de las instalaciones existentes, en concreto, del punto de evacuación de las dos fuentes de energía.

Cuando se realiza una hibridación, la suma de las potencias de ambas fuentes no debe superar nunca la capacidad de evacuación. Por ejemplo, una planta de generación híbrida puede aprovechar la energía solar durante las horas del día y beneficiarse de la energía eólica por la noche cuando el viento es más fuerte. De esta forma, se garantiza un suministro estable y eficiente.

3.2. Ventajas e inconvenientes

La hibridación de fuentes de energía renovables presenta muchas ventajas que permiten aprovechar al máximo los recursos que esta nos ofrece.

- Mayor aprovechamiento de la capacidad de evacuación y mejor factor de capacidad del punto de evacuación gracias a la generación de las dos fuentes de energía, sin necesidad de modificar las instalaciones existentes. Esto garantiza una red eléctrica renovable más estable.
- Reducción de trámites de acceso a la red y optimización de los costes ya que ambas plantas comparten infraestructura. Estos ahorros han sido cuantificados entre un 10% y un 15% [LOPE21].
- En caso de fallo en alguna de las dos instalaciones, se seguirá explotando la máxima capacidad por parte del otro recurso renovable.

Actualmente, el principal inconveniente de la hibridación es que no se puede aprovechar al máximo toda la energía generada. Sin embargo, las plantas de generación híbrida van a ser clave en el futuro, ya que, combinadas con sistemas de almacenamiento de energía, van a ser capaces de almacenar el excedente de energía que no puede transmitirse a la red cuando se supera el

límite de evacuación y verter esta energía cuando la generación disminuya, dando lugar a una red mucho más estable y de generación renovable.

3.3. Procedimiento

El factor determinante para plantear la hibridación del parque eólico estudiado con la planta solar fotovoltaica es la capacidad de evacuación del punto de conexión a la red eléctrica. En este caso, la potencia máxima que se puede evacuar son 30 MW. Por tanto, en ningún momento, la producción conjunta del parque eólico y la planta solar fotovoltaica puede superar este límite.

Para garantizar este hecho, se estudiará cuál es la potencia instalada ideal para la planta solar. Se valorarán desde 1 MWp hasta 35 MWp. Para ello, se analizará la producción media cada hora tanto del parque eólico como de la planta fotovoltaica para las distintas potencias. Se calcularán las horas de curtailment y el excedente de energía cuando se alcanza el límite. Basándose en estos parámetros, se elegirá la potencia de la planta solar fotovoltaica. Posteriormente, y en función del tamaño elegido, se estudiarán los terrenos disponibles para instalar la planta en función de la orografía, la distancia a la subestación y la función de los terrenos.

3.4. Parque eólico

Se va a plantear la hibridación de un parque eólico ya existente: el Parque Eólico Los Morrones en la provincia de Granada. Para el futuro dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica, se ha estudiado la generación de energía de este parque eólico en el apartado 1. Las características y la producción del parque eólico se recogen en la tabla.

Modelo de aerogeneradores	Siemens Gamesa G87-2.0 MW
Número de aerogeneradores	15
Potencia (MW)	30
Diámetro de rotor (m)	87
Altura de buje (m)	78
Producción bruta (MWh/año)	55.352,42
Densidad de energía (kWh/(m² año))	620,75
Factor de capacidad (%)	21,06
Horas equivalentes	1845,08

Tabla 11 Propiedades y producción del parque eólico

3.5. Planta solar fotovoltaica

En el análisis previo de energía solar se han identificado los elementos necesarios para la instalación de una planta solar fotovoltaica según las características actuales del mercado,

garantizando una producción de energía óptima sin elevar los costes. Los componentes elegidos son:

- Seguidores de un solo eje horizontal N-S.
- Paneles Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV.
- Inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1.

Una vez conocidos los componentes, se va a estudiar el tamaño óptimo de la planta solar fotovoltaica para obtener la máxima cantidad de energía posible sin sobrepasar los límites del punto de evacuación. Para ello, es necesario analizar el recurso solar.

3.5.1. Estudio de la producción de energía para una planta solar de 1MWp

Para determinar el tamaño de la planta fotovoltaica, primero se va a estudiar la producción de una planta de 1 MWp. A partir de aquí, se evaluarán plantas desde 1 MWp hasta 35 MWp en función de su producción. Teniendo en cuenta la producción tanto del parque eólico, que se ha estudiado anteriormente, y de la planta solar, se valorará la potencia total evacuada y calculará el excedente de energía, revisando que no se superen los límites. De esta forma, se escogerá el tamaño más adecuado.

Por tanto, para estudiar la producción de una planta de 1MWp se utilizará el programa PVsyst 7.2. Para realizar la simulación, se necesitan datos de la irradiancia global horizontal y de la temperatura ambiente. Estos datos pueden importarse de varias fuentes: PVGIS, NREL, Solcast, Meteonorm o SolarAnywhere. Se utiliza la base de datos de PVGIS, puesto que también va a ser la base de datos para el análisis de radiación y producción de energía. Además, se usarán 1.755 módulos de los paneles Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV y 5 inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la tabla 12, junto con las pérdidas que se han ajustado para la simulación.

Pérdidas	
IAM	0,87%
Suciedad	3,00%
Nivel de irradiancia	0,14%
Temperatura	6,34%
Calidad del módulo	-0,75%
LID	2,00%
Desajuste, módulos y cadenas	2,10%
Cableado (óhmico)	1,21%
Inversor (eficiencia)	1,51%
Indisponibilidad	1,64%
Total	18,06%

Tabla 12 Pérdidas en la simulación de la planta solar de 1MWp

En la siguiente tabla se incluyen los resultados obtenidos a partir de la simulación de PVsist para una planta fotovoltaica de 1 MWp.

Resultados simulación PVsyst 1 MWp	
Pnom	1.000 kWp
Ptotal	875 kW ac
Producción neta anual	2.625 kWh/m2
Pérdidas	18,06%
Energía inyectada a la red	2.184,3 MWh
Horas netas equivalentes	2.184
Ratio Pnom	1,143
Ratio Rendimiento	83,20%

Tabla 13 Resultados de la simulación en PVsyst para una planta de 1 MWp

Con la producción neta de una planta de 1MWp, se puede calcular la producción de la planta para cualquier tamaño deseado, en nuestro caso entre 1MWp y 35MWp. Para no sobrepasar los límites del punto de acceso a la red, la producción total, es decir, la suma de las producciones del parque eólico y la planta solar fotovoltaica no debe superar la capacidad de evacuación máxima, en este caso de 30MW.

A través de la base de datos de PVGIS, se ha obtenido la producción horaria media de una planta fotovoltaica de 1MWp en la ubicación deseada. A partir de esta, se ha calculado la producción horaria para plantas solares fotovoltaicas entre 1MWp y 35Wp. Una vez se han obtenido las producciones se han evaluado las horas de curtailment para cada tamaño de planta.

P (MWp)	Horas curtailment
0	0
1	0
2	10
3	16
4	22
5	40
6	50
7	65
8	82
9	110
10	128
11	144
12	170
13	200

P (MWp)	Horas curtailment
14	223
15	247
16	271
17	301
18	333
19	351
20	380
21	406
22	431
23	458
24	497
25	536
26	577
27	617

P (MWp)	Horas curtailment
28	672
29	717
30	777
31	840

P (MWp)	Horas curtailment
32	908
33	984
34	1.073
35	1.162

Tabla 14 Horas de curtailment en función del tamaño de la planta solar fotovoltaica

En el gráfico inferior, se representa el curtailment anual relativo según la potencia de la planta.

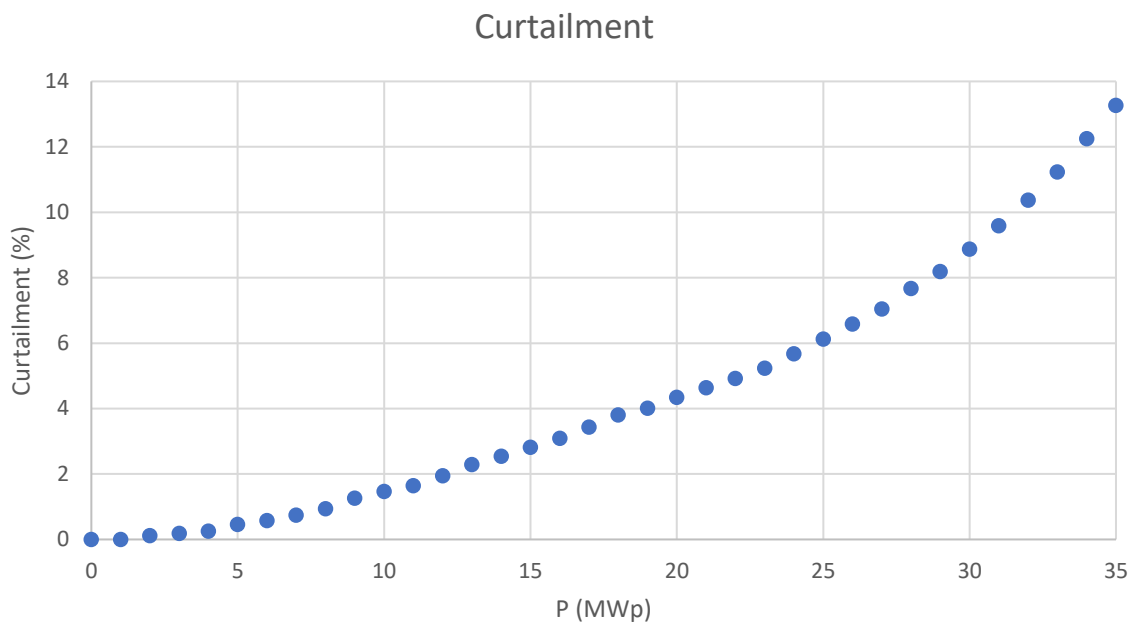


Figura 27 Curtailment (%) en función del tamaño de la planta solar fotovoltaica (MWp)

Como se puede observar en el gráfico anterior, cuanto mayor es la potencia instalada de la planta, mayor va a ser el curtailment puesto que mayor va a ser la producción de energía. El curtailment máximo es de un 13,26%, lo que supone un valor aceptable. A continuación, se va a calcular el excedente de energía en estas horas de curtailment para las distintas potencias de la planta solar, también a través de los datos de producción extraídos de PVGIS.

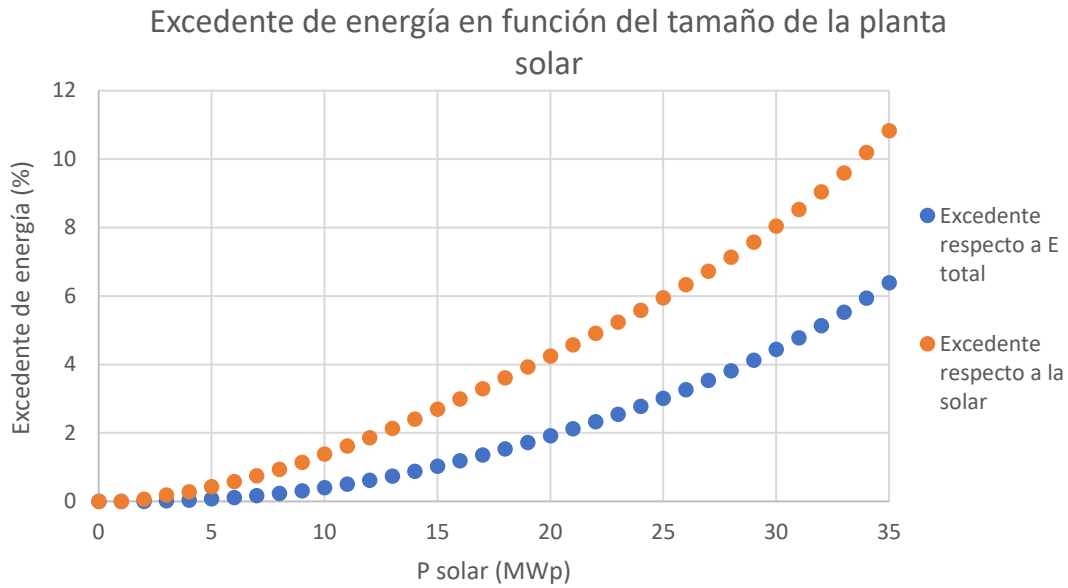


Figura 28 Excedente de energía según el tamaño de la planta solar fotovoltaica

Como se puede apreciar en el anterior gráfico, con potencias instaladas de hasta 35MWp en energía solar fotovoltaica, el excedente de energía no supera en cualquier caso el 7% respecto a toda la energía generada en conjunto entre el parque eólico y la planta solar y un 11% respecto a la energía solar producida. Este excedente se considera lo suficientemente pequeño para que afecte negativamente a la producción del parque eólico y la planta solar fotovoltaica y la evacuación de ésta.

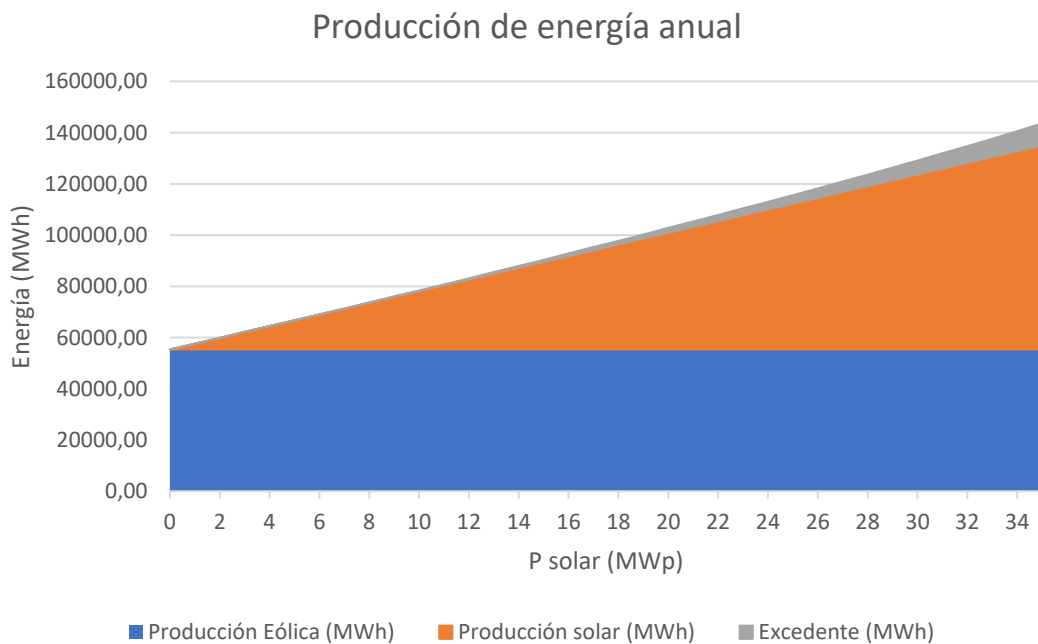


Figura 29 Producción total de energía

Existen excedentes de energía para plantas solares de potencia instalada superior a 2 MWp. Sin embargo, estos excedentes son tan pequeños que son irrelevantes. Sin embargo, a partir de potencias instaladas de 15 MWp, el excedente empieza a ser perceptible.

3.5.1.1. Selección de la potencia de la planta solar fotovoltaica

Según los resultados obtenidos en este análisis de la producción solar en función de la potencia instalada en la planta solar fotovoltaica, se decide instalar una planta solar fotovoltaica de 35 MWp. Existen varias razones para ello:

- Se produce curtailment sólo un 13,26% del tiempo, que representa un porcentaje bajo sobre el que se estará evacuando el máximo de energía posible.
- El excedente de energía para este tamaño de planta solar representa sólo un 6,38% de la energía total producida por el conjunto del parque eólico y la planta solar. Por tanto, la energía que no se aprovecha es relativamente poca.
- Si existe algún fallo o problema que interrumpa la producción del parque eólico, se aprovecharán los recursos y la capacidad de evacuación de 30 MW al máximo posible.

3.5.2. Estudio de la situación de la planta solar fotovoltaica

3.5.2.1. Limitaciones principales

Se ha decidido instalar una planta solar fotovoltaica de 35MWp, de tamaño medio. Por tanto, se necesita un terreno disponible lo suficientemente extenso para construir la planta solar fotovoltaica. Este es la premisa principal. Además, hay que hacer frente a otra serie de supuestos: la calificación del terreno donde se va a realizar la instalación, la distancia hasta el punto de conexión, el arrendamiento correspondiente, etc.

La principal limitación es el tamaño del terreno necesario. Como se justificó en apartados anteriores, se van a usar paneles con seguidores de un solo eje horizontal N-S. Para este tipo de estructuras móviles, se requiere unas dos hectáreas por cada MWp de energía solar instalado. Como la planta solar propuesta es de 35MWp, se necesitarían, al menos, 70 hectáreas de terreno.

Hay una serie de consideraciones que hay que tener en cuenta respecto al arrendamiento. La vida útil de una planta solar varía entre 25 y 35 años aproximadamente. Por tanto, el arrendamiento de los terrenos debe durar la misma serie de años. Los arrendadores deben tener en cuenta el tiempo en que no dispondrán de estos terrenos.

El precio del arrendamiento de terrenos para instalaciones fotovoltaicas ronda los 1500€ por hectárea, aunque este varía en función de la insolación y la orografía. La mayoría de los terrenos alrededor del parque eólico, más cercanos a la subestación, están dedicados al cultivo. Si estos cultivos tienen un alto rendimiento y generan beneficios superiores al correspondiente arrendamiento del terreno, los propietarios, lógicamente, no alquilarán dichos terrenos.

Por otro lado, la orografía también es determinante a la hora de seleccionar cuál será el óptimo para la instalación de los paneles fotovoltaicos. El terreno debe ser lo más llano posible, de manera que permita una fácil instalación y correcta orientación de los paneles. Además, debería tener fácil acceso en caso de que hubiera que acceder a las instalaciones en caso de algún fallo.

Por último, las afecciones ambientales son un factor a tener en cuenta. Dependiendo del municipio, la provincia y la comunidad autónoma a la que pertenezcan, existen distintos requisitos que pueden condicionar la instalación de la planta solar para que no afecte negativamente al paisaje ni a las especies que habitan en el área.

3.5.2.2. Posibles terrenos

En este apartado, se procede a estudiar los posibles terrenos para la instalación fotovoltaica a través de la plataforma SIGPAC del Gobierno de España. Como se ha comentado en el apartado anterior, las principales consideraciones que hay que tener en cuenta para la elección del terreno son, al menos unas 70 hectáreas, deben ser llanos, lo más cerca posible de la subestación eléctrica y con cultivos de bajo rendimiento. En la siguiente imagen, se pueden observar todos los terrenos que rodean al parque eólico y están más cerca de la subestación eléctrica.

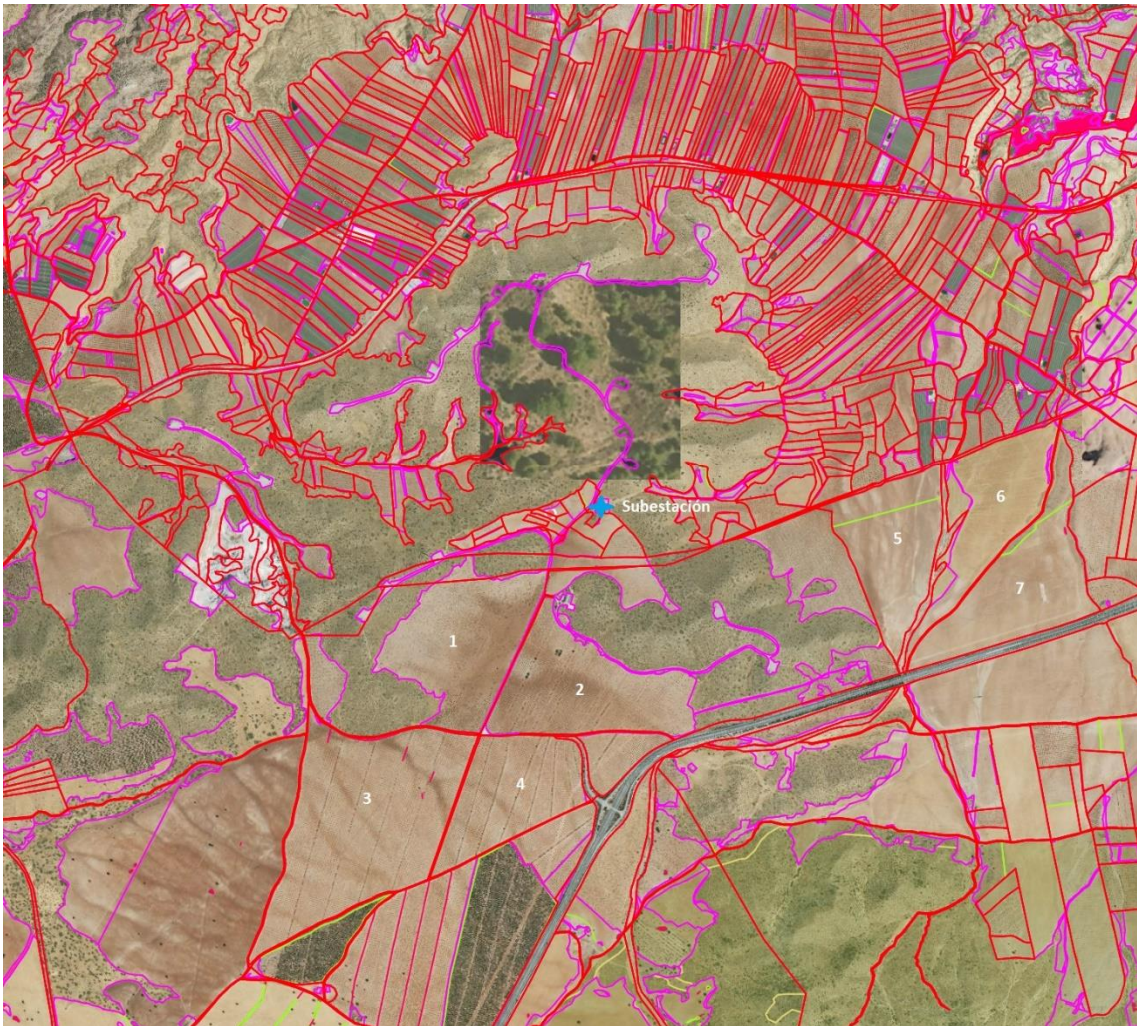


Figura 30 Posibles terrenos para la planta solar fotovoltaica

En la zona por encima del parque eólico, hay numerosas parcelas dedicadas al cultivo. Aunque esta área podría ser un firme candidato para la instalación de la planta solar fotovoltaica, la división del terreno en tantas parcelas diferentes dificulta el arrendamiento, ya que pueden tener distintos propietarios y estar dedicadas a diferentes cultivos, de los cuáles unos sean de alto rendimiento y otros de bajo. Por tanto, se han descartado estos terrenos.

En la zona inferior al parque eólico, hay parcelas mucho más grandes que podrían albergar la planta solar fotovoltaica. En la anterior imagen, se han numerado siete parcelas candidatas para su posterior análisis. Las características de estas parcelas se han obtenido a través del catastro y se recogen en la siguiente tabla.

Número de parcela	Tamaño (ha)	Clase	Uso	Tipo
1	41,1	Rústico	Agrario	AM Almendro seco
2	37,6	Rústico	Agrario	AM Almendro seco
				C Labradío seco
3	67,7	Rústico	Agrario	AM Almendro Secano
4	29,1	Rústico	Agrario	AM Almendro Secano
5	29,8	Rústico	Agrario	C Labradío seco
6	25,6	Rústico	Agrario	C Labradío seco
7	27,6	Rústico	Agrario	C Labradío seco

Tabla 15 Características de los terrenos propuestos

Según los tamaños de los terrenos propuestos, habría que realizar agrupaciones para obtener el tamaño deseado. En la siguiente imagen, se proponen tres agrupaciones de terrenos que cumplirían con los criterios establecidos.

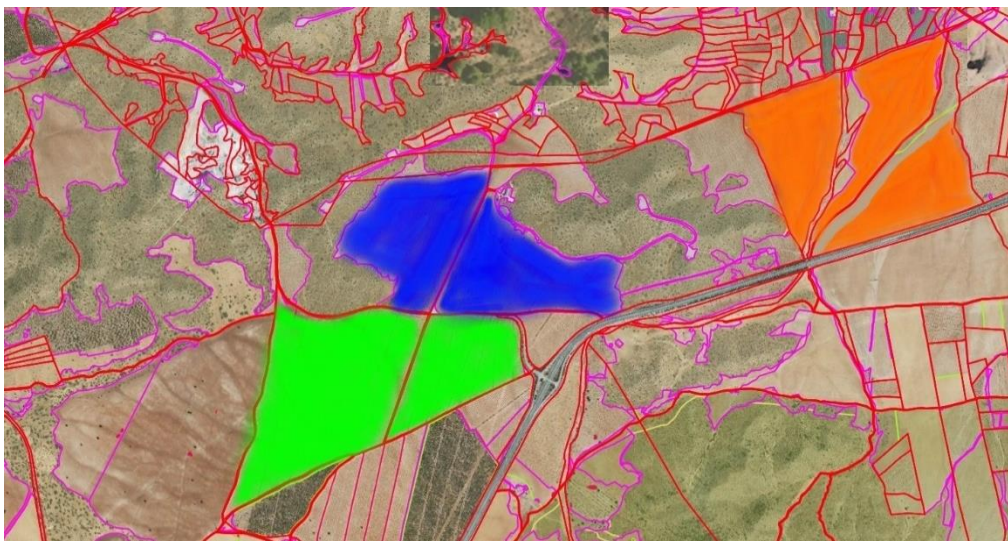


Figura 31 Terrenos propuestos agrupados

Número	Tamaño (ha)	Clase	Uso	Tipo
1	78,7	Rústico	Agrario	AM, C
2	96,8	Rústico	Agrario	AM
3	83	Rústico	Agrario	C

Tabla 16 Características de las agrupaciones propuestas

Como las tres agrupaciones cumplen con las restricciones de tamaño necesarias, se procede a analizar la orografía para comprobar que todos los terrenos pueden albergar la instalación de

los paneles fotovoltaicos. A través de Google Earth Pro, se analizan los perfiles de elevación para las tres agrupaciones.

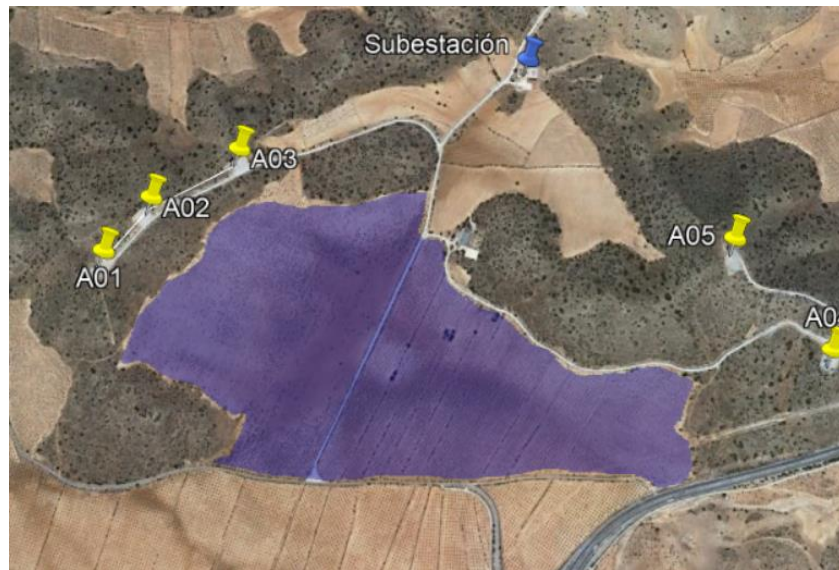


Figura 32 Agrupación 1

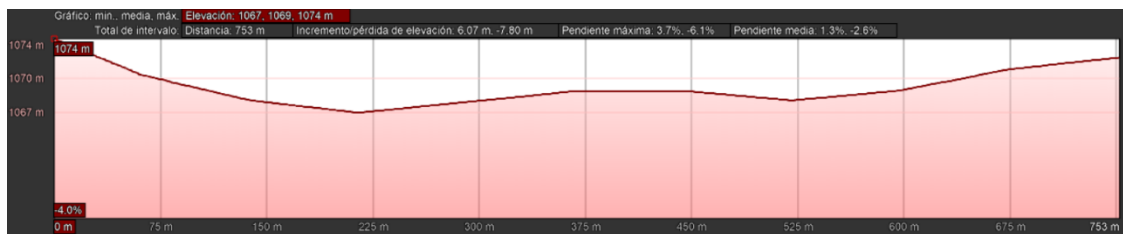


Figura 33 Perfil de elevación N-S Agrupación 1

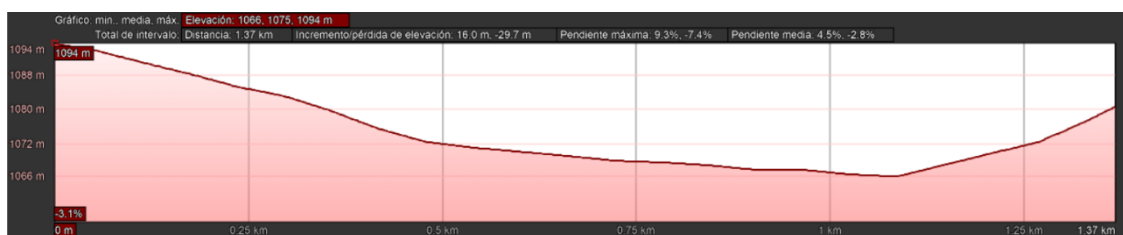


Figura 34 Perfil de elevación E-O Agrupación 1

La agrupación 1 es la más cercana a la subestación eléctrica, a unos 450 metros. Cuenta con una superficie de 78,7 hectáreas, por lo que hay terreno suficiente para la planta propuesta. Además, existe un camino entre los dos terrenos que forman la agrupación 1 que facilitaría el acceso para la instalación y futuros problemas. Aunque una parte del terreno está cerca de algunos aerogeneradores, hay distancia suficiente para no interferir con los paneles solares. Según el perfil de elevación N-S, hay una pendiente descendente al principio del terreno, que se

estabiliza y asciende al final del terreno. El perfil E-O muestra una inclinación más acusada al principio del terreno, pero luego se allana y sube al final.



Figura 35 Agrupación 2



Figura 36 Perfil de elevación N-S Agrupación 2



Figura 37 Perfil de elevación E-O Agrupación 2

La agrupación 2 se encuentra un poco más alejada de la subestación eléctrica, a más de 1 kilómetro, por debajo de la agrupación 1. Tiene una superficie total de 96,8 hectáreas en total. Como una parte se encuentra muy cerca de la autovía A-92-N, hay superficie suficiente para dejar las servidumbres requeridas por ley. También tiene caminos en la parte superior del

terreno para facilitar el acceso. El perfil de elevación N-S muestra una leve inclinación hacia arriba a lo largo del terreno, que incrementa al final. El perfil E-O muestra una pendiente negativa a lo largo del terreno.



Figura 38 Agrupación 3

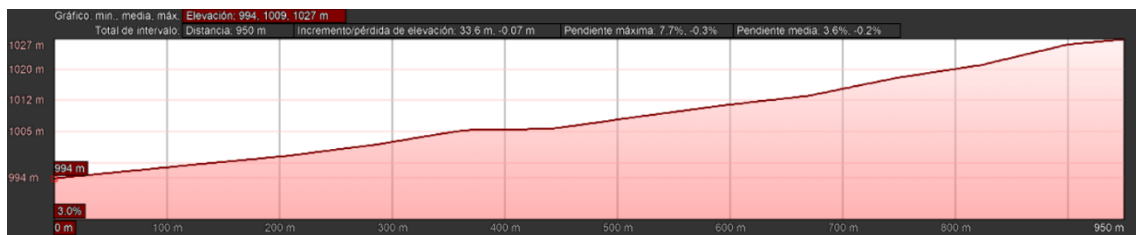


Figura 39 Perfil de elevación N-S Agrupación 3



Figura 40 Perfil de elevación E-O Agrupación 3

Por último, la agrupación 3 también se encuentra más alejada que la agrupación 1. Estos terrenos presentan una superficie total de 83 hectáreas. Está dividido por un arroyo y una cañada real que separa las tres parcelas. Como se encuentra pegado a la autovía A-92N, habría que dejar las servidumbres requeridas respecto a la autovía, pero se dispone de superficie

suficiente. También existe un camino paralelo a la autovía para garantizar el acceso en caso de ser necesario. Al igual que la agrupación 2, el perfil N-S muestra una ligera inclinación hacia arriba, mientras que el perfil E-O muestra una pendiente negativa de poco desnivel. El inconveniente adicional de esta agrupación es que es un conjunto de tres terrenos en vez de dos, como las agrupaciones 1 y 2. Esto hará la tramitación un poco más difícil, pero no es un problema.

En la siguiente tabla, se recogen los datos sobre la pendiente del terreno, obtenida de los perfiles de elevación correspondientes.

Agrupación	Pendiente media N-S	Pendiente media E-O
1	-0,24 %	-1,13 %
2	2,6 %	-2,04 %
3	3,5 %	-0,68 %

Tabla 17 Pendientes de las agrupaciones de terrenos

Evidentemente, las tres opciones presentadas muestran pendientes tanto positivas como negativas, pero no hay un desnivel lo suficientemente grande como para que suponga un inconveniente para la instalación de los paneles fotovoltaicos.

3.5.2.3. Selección del terreno

En este apartado, se va a seleccionar el terreno más adecuado en función de las características analizadas en el punto anterior.

Como se ha mencionado anteriormente, todas las agrupaciones cuentan con un área lo suficientemente grande para albergar la planta solar fotovoltaica propuesta, por lo que no supone un motivo para descartar ninguna de las opciones. Por otra parte, es conveniente que en el perfil N-S, la pendiente sea negativa ya que la incidencia solar será mayor. Teniendo en cuenta solo este factor, la agrupación más conveniente sería la 1, ya que tiene una pendiente media de -0,24 %. Sin embargo, el factor determinante que va a determinar el terreno elegido va a ser el tipo de cultivo. Parte de las agrupaciones 1 y 2 incluyen almendros en sus terrenos. De esta forma, si se eligieran estos terrenos para la planta solar, no solo habría que retirarlos, sino que el propietario de los terrenos podría pedir una compensación por la productividad de los almendros retirados, aumentando considerablemente los precios del arrendamiento. Por tanto, se van a descartar las agrupaciones 1 y 2.

Por esta razón, se elige la agrupación 3 para la instalación de la planta solar fotovoltaica, puesto que no tiene ningún cultivo. Esta agrupación está compuesta por tres terrenos que abarcan una

superficie de 83 hectáreas. Sin embargo, por la parte de abajo limita con la autovía, por lo que habrá que dejar la servidumbre de 10 metros a lo largo del límite inferior. Además, se dejarán 5 metros a ambos lados de la cañada real y de la rambla que divide la agrupación. A pesar de las servidumbres, hay terreno suficiente para la planta solar, del que se pagará el correspondiente arrendamiento proporcional a la superficie ocupada.

La pendiente media del terreno N-S es de 3,5% y de -0,68 % E-O. Aunque la pendiente no está orientada hacia el sur, no tiene un valor elevado que impida la instalación de los paneles fotovoltaicos. Existe un camino paralelo a la autovía para facilitar el acceso. La distancia de estos terrenos a la subestación eléctrica es de 1.074,4 metros. Las propiedades del terreno se agrupan en la tabla.

Características de los terrenos seleccionados	
Tamaño	83 ha.
Municipio	Baza
Polígono	29
Cultivo	Labradío seco
Pendiente media N-S	3,5 %
Pendiente media N-S (+)	3,6 %
Pendiente media N-S (-)	-0,2 %
Distancia a subestación	1.074,4 m

Tabla 18 Características de los terrenos seleccionados

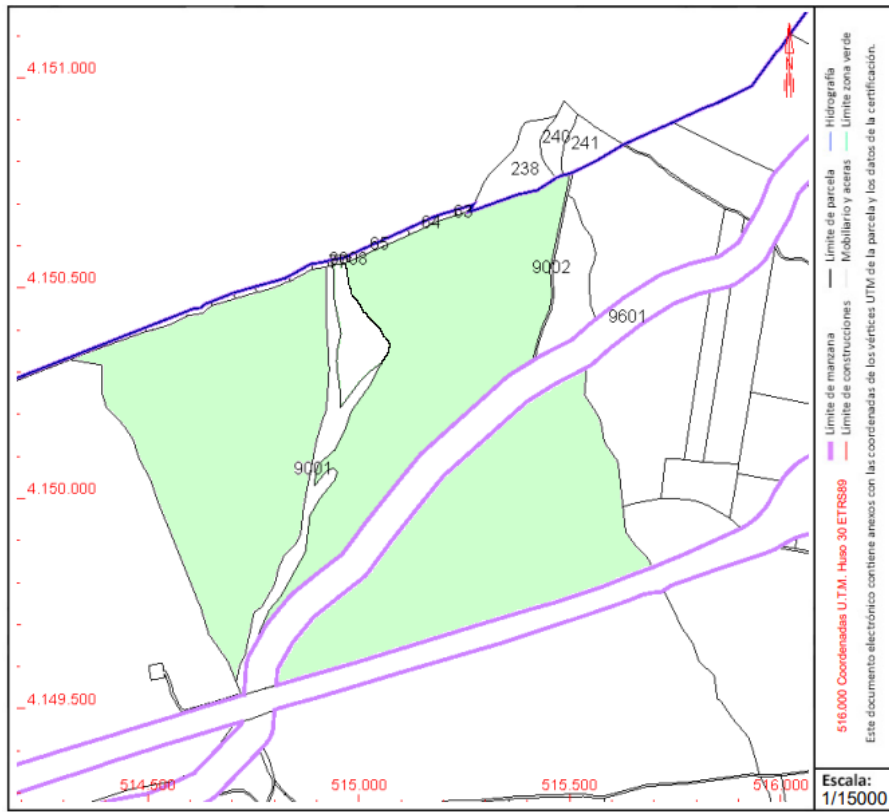


Figura 41 Selección de parcelas del catastro

4. Análisis económico de la hibridación

En este apartado, se va a realizar el análisis económico de la instalación de la planta solar fotovoltaica propuesta anteriormente. Por una parte, se analizarán los costes de la planta solar fotovoltaica y los ingresos procedentes de la producción de energía durante su vida útil, para luego hacer el correspondiente estudio económico.

4.1. Costes

Para la evaluación de los costes de la planta solar fotovoltaica, se usarán los elementos que se han determinado en apartados anteriores, con las correspondientes unidades necesarias que se han determinado a través de la simulación de PVsyst. Por tanto, se necesitarán las siguientes unidades, además de las inversiones en instalaciones, infraestructura, mano de obra y trámites pertinentes:

- 61.425 paneles Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV.
- 750 seguidores de un solo eje horizontal N-S.
- 175 inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1.

En la siguiente tabla se recogen los costes de inversión para la hibridación del parque eólico con la planta solar fotovoltaica.

CAPEX	Cantidad (kWp)	Precio Unitario (€/kWp)	Total
Paneles fotovoltaicos	35.000	280,80 €	9.828.000 €
Seguidores	35.000	48,00 €	1.680.000 €
Inversores	35.000	54,70 €	1.914.573 €
Mano de obra	35.000	11,14 €	390.000 €
Total	35.000	394,64 €	13.812.573 €
Obra eléctrica			
Instalación BT	35.000	25,00 €	875.000 €
Instalación MT	35.000	10,27 €	359.600 €
Puesta a tierra	35.000	11,55 €	404.250 €
Mano de obra	35.000	11,17 €	391.000 €
Total	35.000	58,00 €	2.029.850 €
Obra civil			
Creación y estabilización caminos	35.000	5,93 €	207.536 €
Acondicionamiento de terrenos	35.000	29,80 €	1.043.000 €
Seguridad Cámaras CCTV	35.000	3,99 €	139.650 €
Cimentaciones campo solar	35.000	8,20 €	287.000 €

Zanjas para canalizaciones	35.000	10,45 €	365.689 €
Vallado perimetral	35.000	5,49 €	192.045 €
Estudio Geotécnico	35.000	1,99 €	69.700 €
Total	35.000	65,85 €	2.304.620 €
Control y monitorización	35.000	11,32 €	396.182 €
Avales	35.000	20,00 €	700.000 €
Ingeniería y dirección de obra	35.000	9,71 €	340.000 €
TOTAL	35.000	559,52 €	19.583.227 €

Tabla 19 Costes de inversión de la planta solar fotovoltaica

Este CAPEX representa la inversión para preparar los terrenos y construir y realizar la instalación de la planta solar fotovoltaica. Este coste se ha estimado en 559,52 € por kWp instalado. A continuación, se recogen los costes de operación.

OPEX	Cantidad (ha)	Precio unitario (€/ha)	Total
Alquiler de terrenos	70	1.500,00 €	105.000 €
Seguros	70	295,00 €	20.650 €
Operación y mantenimiento			
O&M Predictivo	70	2.000,00 €	140.000 €
O&M Preventivo	70	1.300,00 €	91.000 €
O&M Correctivo	70	715,00 €	50.050 €
Limpieza módulos fotovoltaicos	70	7.020,00 €	491.400 €
Limpieza y desbroce del terreno	70	11.200,00 €	784.000 €
Total	70	22.235,00 €	1.556.450 €
TOTAL	70	24.030,00 €	1.682.100 €

Tabla 20 Costes de operación de la planta solar fotovoltaica

El OPEX representa la inversión anual que hay que realizar para mantener en funcionamiento la planta solar. Esto incluye el arrendamiento de los terrenos, los seguros y los costes de operación y mantenimiento. Este coste se ha estimado en 24.030,00 € por hectárea. Sin embargo, este coste se irá modificando según pasen los años debido a la inflación. Para estimar esta variación de los costes de operación, se han usado las estimaciones de la tasa de inflación previstas por el Fondo Monetario Internacional [INMF22]. Para los años que todavía no se recogen en las predicciones del FMI, se supone una tasa de inflación del 2%, que corresponde con el objetivo del Banco Central Europeo. Por tanto, los costes de operación a lo largo de la vida útil de la

planta solar fotovoltaica se representan en el siguiente gráfico teniendo en cuenta la tasa de inflación.

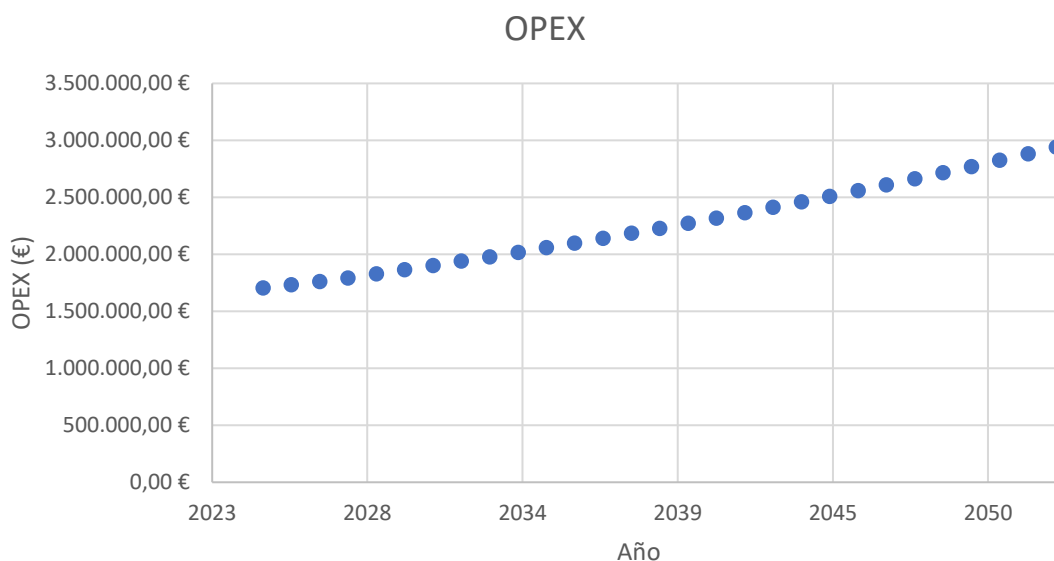


Figura 42 Evolución del OPEX según la inflación

4.2. Ingresos

En esta sección se recogen los ingresos resultantes de la producción de la planta solar fotovoltaica y de la hibridación del parque eólico con la planta solar. Para la estimación de los ingresos, se ha utilizado una estimación de las tasas de captura para solar y eólica en los próximos 30 años de ICIS (Independent Commodity Intelligence Services). Estos modelos han sido realizados según el desarrollo de la capacidad y los precios, la demanda, la evolución de la tecnología, los precios del carbono y las hipótesis de costes [MANU21].

En concreto, el impacto de los precios es negativo en los precios de captura de ambas tecnologías, especialmente en la solar. Aunque las perspectivas para la trayectoria de precios es que ascienda hasta 2050 debido al incremento de los precios del carbón, las previsiones para la captura solar tienden a la baja de 2021 en adelante. La rápida expansión de la capacidad provoca diferencias entre los precios de captura y los precios al por mayor. Según se añade más energía solar en la capacidad total de generación, el coste marginal cero de estos activos desplaza las fuentes de energía de mayor coste en el conjunto, ejerciendo una presión a la baja sobre los precios de captura. El efecto sobre los precios de captura de eólica es menos acusado, puesto que se estima que la capacidad eólica crezca a ritmos más moderados que la solar.

En el siguiente gráfico se representa la evolución de las tasas de captura a lo largo de los años de la vida útil de la planta solar fotovoltaica.

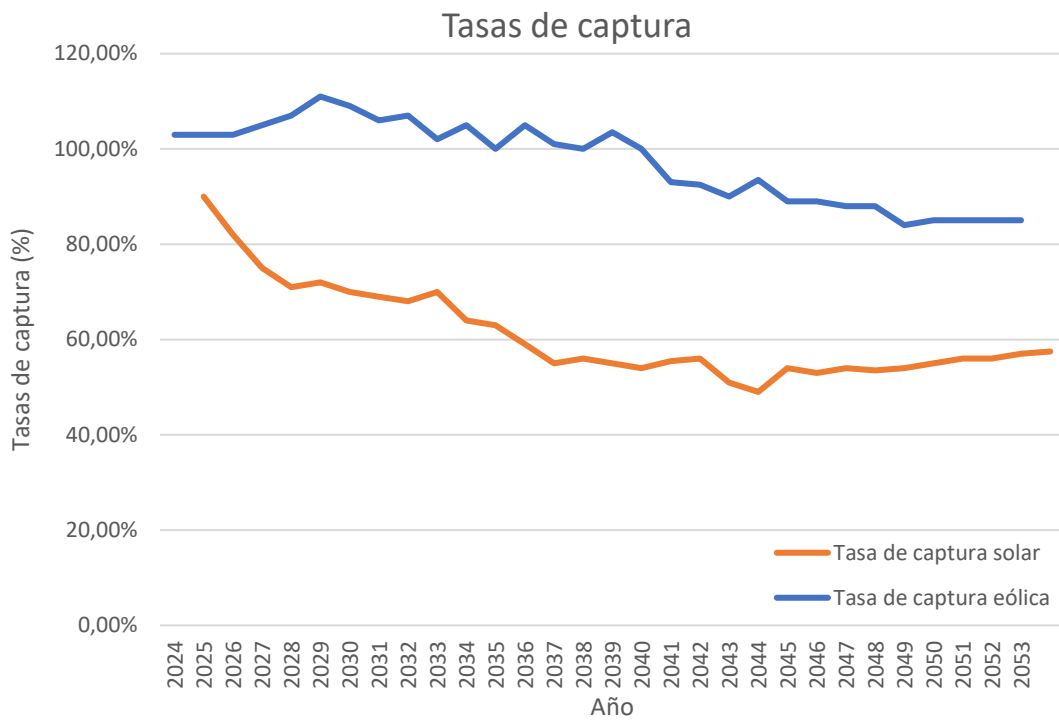


Figura 43 Evolución de las tasas de captura de solar y eólica

A partir de estas tasas de captura para la energía solar y la eólica, se pueden calcular los ingresos durante la vida útil de la planta solar y el parque eólico a partir de los precios estimados también por ICIS. Esta estimación se hace asumiendo que el parque eólico va a seguir funcionando durante la vida útil de la planta solar fotovoltaica.

En el siguiente gráfico se representan los ingresos generados por la producción del parque eólico, la planta solar fotovoltaica y el conjunto de ambos. Para la producción de la planta solar fotovoltaica se ha asumido una degradación de los paneles fotovoltaicos del 0,4% anual, conforme indica la ficha técnica.

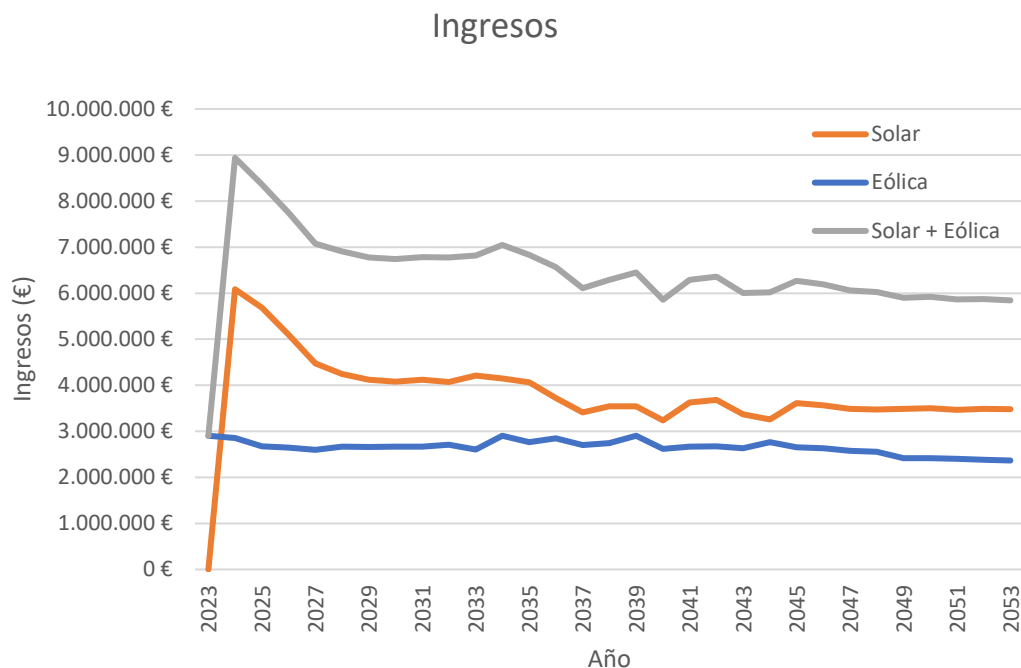


Figura 44 Evolución de los ingresos de la hibridación

Como se puede comprobar en el gráfico, el ingreso de la solar es nulo en 2023 puesto que durante ese año estaría en fase de construcción y solo se obtendrían ingresos del parque eólico. A partir de 2024, se han considerado los ingresos de ambas plantas.

4.3. Análisis económico

Una vez que se ha calculado tanto los ingresos como los costes de la planta fotovoltaica, se procede a realizar el análisis económico. Para la aplicación de éste, hay que tener en cuenta el Impuesto sobre el Valor de la Producción de la Energía Eléctrica (IVPEE) que actualmente tiene un valor establecido del 7%.

Por tanto, con los cálculos previos de ingresos, costes, inflación y el IVPEE, se calculan y representan los flujos de caja.

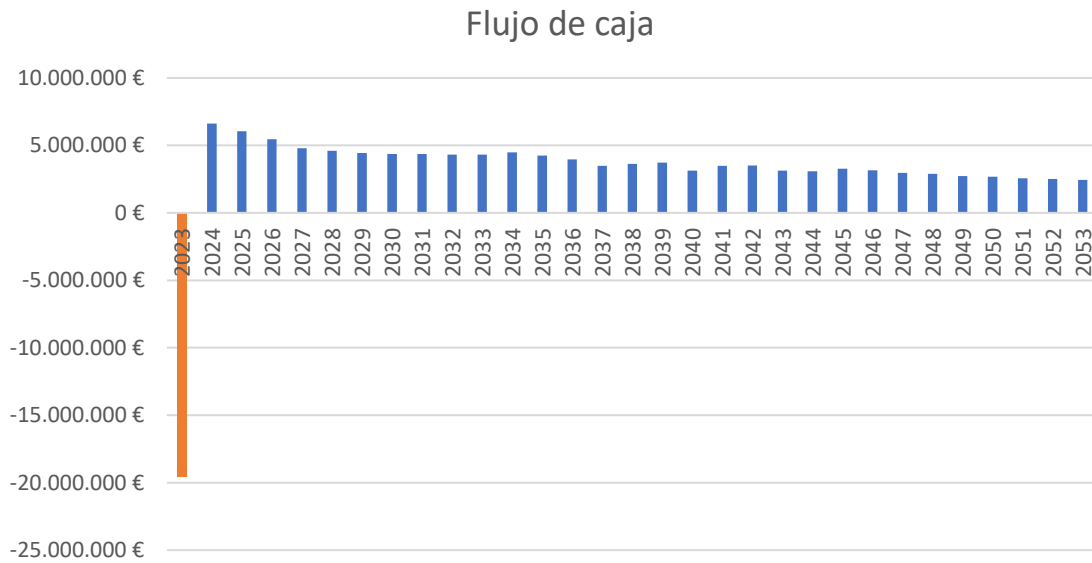


Figura 45 Flujo de caja

Como se puede observar en el gráfico anterior, en 2023 el flujo de caja es negativo debido a la inversión de la construcción de la planta solar fotovoltaica. A partir de 2024, el flujo de caja es positivo debido a que la planta ya está en funcionamiento y obtiene beneficios de la venta de energía.

A partir del flujo de caja, se van a calcular la TIR y el Valor Actual Neto para evaluar la rentabilidad del proyecto. A partir de los resultados obtenidos, se sacarán conclusiones sobre la viabilidad de la hibridación.

A través del análisis económico y el flujo de carga, se han obtenido los siguientes resultados:

Tasa Interna de Retorno (TIR)	9,93%
Valor Actual Neto (VAN)	1.038.847,70 €

Figura 46 TIR y VAN de la inversión

La TIR obtenida se considera rentable para asumir la inversión de la hibridación solar con el Parque Eólico Los Morrones y generará beneficios suficientes para ser amortizada.

5. Análisis ambiental

Una planta solar fotovoltaica, como cualquier estructura, tiene un impacto ambiental que afecta a la zona donde se instala. En esta sección, se va a evaluar el impacto ambiental y las consecuencias de la instalación de la planta fotovoltaica en el entorno de Baza, Granada. Hay que destacar que tanto el parque eólico como la planta fotovoltaica se encuentran cerca del entorno del Parque Natural Sierra de Baza, pero no dentro de él. Antes de comenzar a evaluar las consecuencias de la planta solar fotovoltaica, se presentan dos imágenes del estado actual de los terrenos donde se van a colocar los paneles solares.



Figura 47 Estado actual de los terrenos elegidos para la planta solar fotovoltaica

Los requisitos para evaluar el impacto medioambiental de la planta fotovoltaica acorde con la normativa vigente consisten en analizar las aguas, la flora, la fauna, la salud pública, los residuos, la atmósfera o el patrimonio histórico, entre otros.

5.1. Atmósfera y cambio climático

Para empezar, la energía solar es una energía totalmente limpia, que no genera emisiones contaminantes de ningún tipo durante su funcionamiento. Sin embargo, se debe tener en cuenta las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x procedentes de la producción de los materiales para la fabricación de paneles solares. Aunque la instalación de los paneles fotovoltaicos conlleve emisiones de gases de efecto invernadero, los beneficios en la reducción en la generación de electricidad a través de fuentes de energía no renovables y sus consecuentes emisiones contaminantes superan los inconvenientes. Las emisiones son entre 100 y 200 más pequeñas que las que se llevarían a cabo por la obtención de energía de fuentes no renovables [ECEA07]. De esta forma, aunque la fabricación de los paneles implique emitir gases contaminantes, el resultado es una reducción considerable de éstos.

La maquinaria necesaria para el transporte e instalación de la planta solar fotovoltaica también realizará emisiones, pero no se consideran relevantes frente a los niveles de emisiones y contaminación actuales. En general, una planta solar fotovoltaica tiene un impacto medioambiental positivo respecto a emisiones y al cambio climático.

5.2. Suelos

En cierta medida, el suelo va a ser modificado para la instalación de los seguidores que sujetarán los paneles fotovoltaicos, ya que deben estar fijados y asegurados al suelo. Sin embargo, ya se han estudiado los perfiles de elevación del terreno en las dos orientaciones principales y se ha comprobado que el terreno es lo suficientemente llano para albergar los paneles solares. Esto también se puede apreciar en las fotos anteriores. Por tanto, no será necesario realizar ningún movimiento de tierras considerable que altere el terreno, pero si será necesario hacer zanjas y remover tierra para el proceso de cimentación.

Por otra parte, ya existe un camino paralelo a la autovía para facilitar el acceso a las parcelas. Aunque los materiales y las piezas necesarias no son muy grandes, será necesario habilitar más vías de acceso para acceder a las zonas más separadas de las parcelas y así facilitar el trabajo de la maquinaria necesaria. Estos nuevos caminos no supondrán gran impacto medioambiental, puesto que no afectan ni a la flora, ni a la fauna, ni a los cauces de agua.

Por otra parte, pueden producirse derrames de productos tóxicos o contaminantes al suelo, tanto durante las tareas de instalación como con las tareas de mantenimiento, que pueden afectar no solo al suelo, sino a la flora, la fauna o incluso si se produce filtrado a aguas subterráneas.

En resumen, la planta solar fotovoltaica tiene un impacto medioambiental moderado respecto a suelos, sobre todo durante la fase de construcción y desmantelamiento.

5.3. Aguas

Otro de los impactos ambientales a tener en cuenta es en el agua, tanto superficial como subterránea. En este caso, la energía solar fotovoltaica no tiene ninguna consecuencia sobre masas de agua. En la selección de terrenos para la instalación de la planta solar fotovoltaica, se ha respetado el cauce de un arroyo que separa dos de las parcelas elegidas para la planta fotovoltaica. También hay otro arroyo limitando con la parcela más oriental. Aunque sean

cauces de agua temporal, hay que dejar las distancias de seguridad requeridas para que la planta no afecte a los recursos de agua y viceversa.

A pesar de que no afecte directamente a los cauces de agua, es necesario tomar precauciones en las fases de construcción y desmantelamiento, al igual que durante las tareas de mantenimiento para evitar que residuos ni sustancias tóxicas puedan contaminar las aguas, teniendo consecuencias más serias sobre flora, fauna e incluso la población. Además, aparte de afectar al suelo, la filtración puede dar lugar a la contaminación de aguas subterráneas. En este caso, es de vital importancia puesto que la planta se sitúa sobre el acuífero de Sierra de Baza y podría modificar la calidad de su agua. Sin embargo, si se toman las precauciones necesarias, no sería un problema.

En resumen, el impacto medioambiental de la planta fotovoltaica sobre las aguas es limitado.

5.4. Flora

Por otro lado, como se ha explicado en apartados anteriores, la planta solar se instalará sobre terrenos que actualmente están dedicados al labradío de secano. La planta fotovoltaica solo afectará al cultivo que presentan los terrenos. Por tanto, no supone un impacto ambiental significativo puesto que el labradío de secano se cultiva en toda la zona y no supone la pérdida de ninguna especie.

Sin embargo, habrá que eliminar la vegetación que crezca de forma natural en las parcelas para que no afecte al funcionamiento y rendimiento de los paneles solares. Además, la creación de caminos y vías de acceso para la instalación y el mantenimiento también supondrá eliminación de la vegetación de la zona.

La modificación o eliminación de la vegetación afecta indirectamente a la fauna de la zona, pues limita los recursos de los animales. Sin embargo, como se ha mencionado antes, aunque suponga un cambio en las condiciones del terreno, a gran escala no supone ningún peligro ambiental ya que la misma vegetación se encuentra en los alrededores. La mayoría de especies vegetales que pueden alterar los hábitos de alimentación o vida de la fauna se encuentra dentro del Parque Natural Sierra de Baza, por lo que no tiene un gran impacto.

Por tanto, el impacto medioambiental de la planta fotovoltaica sobre la flora es también limitado.

5.5. Fauna

Respecto a la fauna, existen más de 100 especies en el entorno de la Sierra de Baza, entre las que destacan las aves rapaces, la perdiz roja o los jabalís [MANC22]. Las plantas fotovoltaicas suelen estar valladas en todo su perímetro para garantizar su seguridad, con zonas de paso para animales pequeños. En el área de instalación de la planta fotovoltaica, no debería suponer ningún peligro para las especies que vivan en la zona, pues podrán desplazarse fácilmente a zonas colindantes con las mismas características que los terrenos elegidos. No es común encontrar animales de gran envergadura en esta zona. Por tanto, aunque sea necesario que ciertas especies se desplacen, el hábitat y el ecosistema seguirá siendo el mismo, y las especies no encontrarán ningún depredador ni ninguna especie con la que tenga que competir por los mismos recursos, de forma que alguna de ellas esté destinada a la extinción. Este mismo ejemplo es la misma situación para las especies vegetales.

Es evidente que el hábitat donde se va a instalar la planta solar fotovoltaica va a ser modificado, y tanto la fauna como la flora se van a ver reducidas en esta zona. Sin embargo, como las mismas condiciones del hábitat que se destruye pueden ser encontradas fácilmente a su alrededor, no conlleva ningún riesgo para las especies.

Por otra parte, entre dos de las parcelas seleccionadas discurre una cañada real, cuyo recorrido ha sido respetado acorde con la ley actual. Además, se ha dejado el espacio correspondiente necesario para garantizar la seguridad tanto de los animales como de la instalación fotovoltaica, dejando distancias de 10 metros a cada lado de la cañada real. De esta forma, no se pone en riesgo a los animales.

Consecuentemente, al igual que con la flora, el impacto medioambiental sobre la fauna es limitado, puesto que existen alternativas fácilmente viables para la conservación de las especies.

5.6. Salud pública

Otro de los factores a considerar son los efectos sobre la población y la salud humana. La energía es una tecnología completamente limpia, y no genera ningún tipo de gas o humo que pueda afectar a la salud humana. Durante la fase de instalación, puede haber ruido procedente de la maquinaria y los trabajadores, más tráfico de vehículos en la zona que conlleva más emisiones y una disminución en la calidad del aire. Durante las tareas de reparación este efecto será imperceptible. Sin embargo, una vez instalada, la energía solar es completamente silenciosa, por

lo que no altera ni molesta al bienestar de la sociedad, a pesar de estar alejada de los núcleos urbanos.

Según estas razones, el impacto medioambiental sobre la población y la salud pública es limitado.

5.7. Patrimonio cultural

No se detecta ninguna construcción o estructura de patrimonio artesanal, cultural o arqueológico en la zona que pueda ser afectado por la construcción de la planta solar fotovoltaica.

5.8. Medio

El impacto más claro de la planta es el impacto paisajístico y visual, debido a la gran extensión que ocupa. Además, los seguidores y los paneles solares requieren cierta altura desde el suelo, por lo que no son plenamente discretas. La planta está situada al lado de una autovía con cierto tráfico habitual, por lo que es fácilmente visible para un gran número de personas habitualmente. Esto podría causar una disminución en la calidad del paisaje. El impacto medioambiental sobre el medio es moderado.

5.9. Conclusiones

Todos estos impactos desarrollados son determinantes durante la fase de construcción e instalación de la planta y la fase de desmantelamiento, pero también durante fase de funcionamiento. Como se ha visto en este análisis, los impactos son mayores en la instalación de la planta, pues se necesitan hacer algunos cambios en el terreno, se modifica el hábitat, maquinaria que conlleva emisiones, ruido, etc. Una vez se complete la planta fotovoltaica y comience a funcionar, los impactos se verán reducidos.

Sin embargo, como se ha explicado previamente en la selección de terreno, la planta solar debe estar situada cerca del punto de evacuación y la necesidad de un terreno de al menos 70 hectáreas complica la búsqueda de terrenos óptimos y reduce las opciones disponibles. Además, los territorios del Parque Natural de la Sierra de Baza no pueden utilizarse con este fin. Aunque, como cualquier terreno, se produce un impacto medioambiental y paisajístico considerable, pero en mayor medida, limitado. Éste no se vería disminuido si se hubiera elegido otra zona para la instalación de la planta fotovoltaica.

6. Conclusiones

Este proyecto se ha propuesto para aprovechar los recursos existentes de un parque eólico existente mediante la hibridación con una planta solar fotovoltaica. A través de este estudio, se ha podido comprobar cómo la puesta en común del punto de acceso y evacuación a la red conlleva ventajas y facilidades respecto a nuevas instalaciones de energías renovables.

El parque eólico actual está formado por 15 aerogeneradores G87/2000 que suman una capacidad de 30 MW y cuenta con una producción de 55.352,42 MWh por año, lo que equivale a 1.845,08 horas equivalentes.

Como la capacidad de evacuación de la instalación del parque eólico es considerablemente superior a la utilizada por el parque eólico, se estudia el tamaño más adecuado para plantear la hibridación con una planta solar fotovoltaica. Después de estudiar la producción combinada del parque eólico actual con plantas fotovoltaicas de entre 1 MWp y 35 MWp, se decide instalar una planta solar de 35 MWh que producirá un 13,26% de curtailment y un excedente de energía del 6,38% respecto al total de la producción de ambas plantas. Este tamaño permitirá generar más energía a través del mismo punto de conexión a la red sin sobrecargarse ni desaprovechar los recursos disponibles.

Tras el análisis de los diferentes componentes y tecnologías fotovoltaicas existentes, se decide utilizar los siguientes elementos para optimizar la producción solar de la planta solar fotovoltaica:

- Seguidores de un solo eje horizontal N-S.
- Paneles Jinko Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV.
- Inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1.

Los paneles Jinko Tiger Neo elegidos son bifaciales y permiten aprovechar la radiación solar directa y la reflejada, son resistentes a las microrroturas, al polvo y a la humedad y cuentan con la tecnología Half-Cell para reducir las pérdidas por sombras. Son paneles de alta potencia, por lo que se optimiza el número de paneles necesarios. Los seguidores de un solo eje permiten obtener un mayor recurso solar sin encarecer mucho los costes. Por último, los inversores de string o cadena Huawei SUN2000-185KTL-H1, que ofrecen un buen rendimiento frente a sombreados y fallos, son de gran tamaño y permite modular y controlar la planta por diferentes secciones.

A continuación, se estudian los diferentes terrenos que pueden acoger la planta solar fotovoltaica. Se realizan tres propuestas diferentes, procedentes de una combinación de diferentes terrenos para alcanzar el tamaño mínimo de 70 hectáreas. Todas cuentan con una inclinación similar leve, que permite la instalación de paneles solares. De las tres agrupaciones de terrenos, se escoge la agrupación 3 puesto que no cuenta con cultivos que pueden encarecer el precio del arrendamiento, a pesar de encontrarse un poco más lejos de la subestación que el resto de agrupaciones.



Figura 48 Situación de los terrenos frente al parque eólico

Por último, se realiza el análisis económico pertinente de la hibridación del parque eólico con la planta solar fotovoltaica. Para el análisis económico, se han tenido en cuenta las siguientes suposiciones:

- Degradación de los paneles solares de un 0,4% anual.
- Tasa de inflación según las previsiones del Banco Central Europeo.
- Tasas de captura y precios de solar y eólica de ICIS.

El IVPEE se establece en el 7%. Para este análisis se supone que el parque eólico seguirá funcionando durante la totalidad de la vida útil de la planta solar fotovoltaica. El caso de la repotenciación necesaria no se contempla en este proyecto.

El análisis económico proporciona los resultados de la inversión de la hibridación. Se obtiene una TIR del 9,93% y un VAN de 1.038.847 € con una tasa de descuento del 9%. Esto supone una inversión totalmente rentable. Como se comprueba en los flujos de caja, una inversión de 19.583.227 € genera unos beneficios mucho mayores a lo largo de la vida útil de la planta solar fotovoltaica.

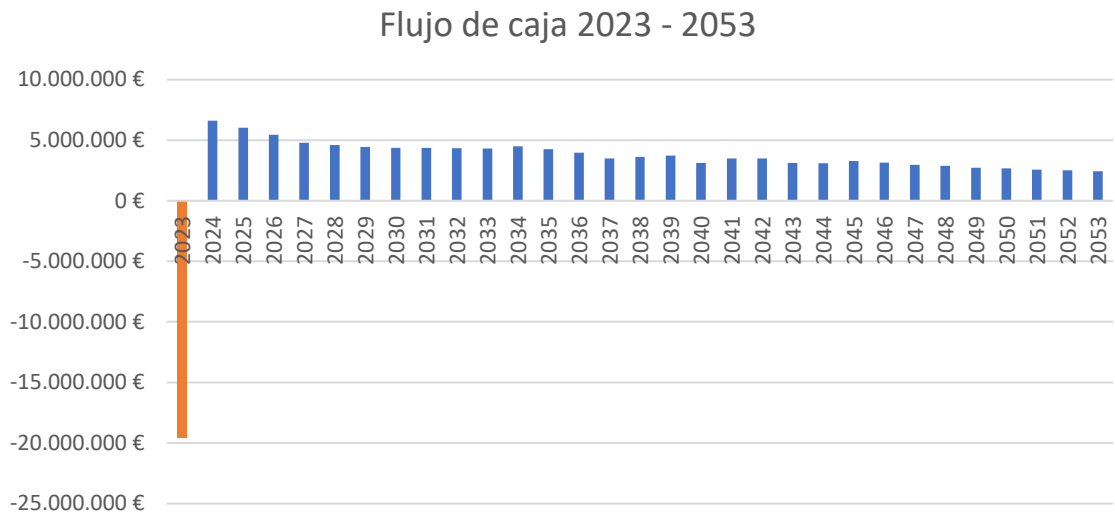


Figura 49 Flujo de caja de la inversión 2023 - 2053

Los beneficios procedentes de la hibridación ascienden a un total de 114.363.036 € y quedan representados en el siguiente gráfico:

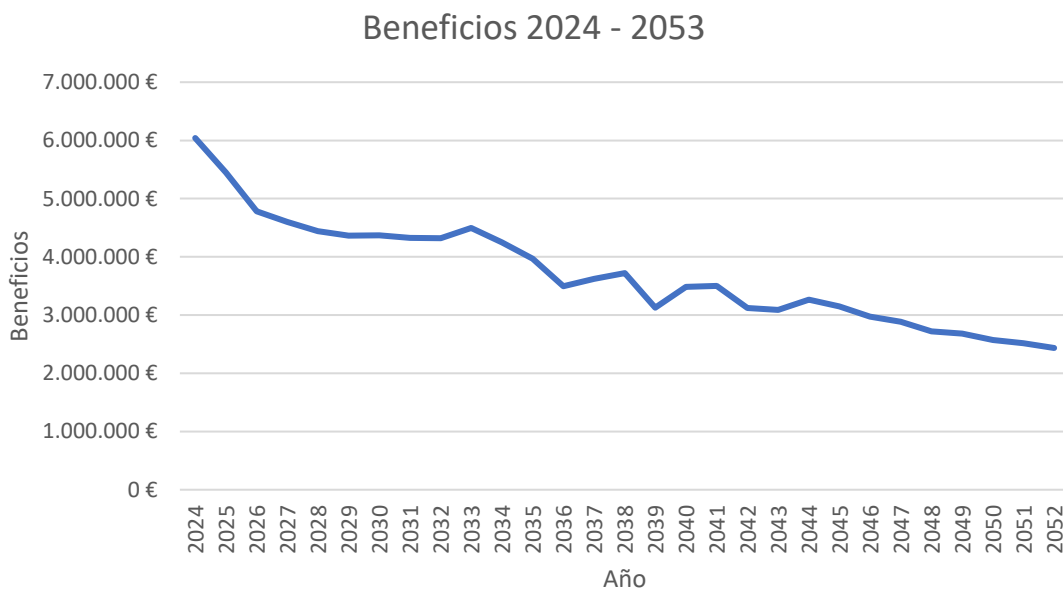


Figura 50 Beneficios de la hibridación 2024 - 2053

Por último, como cualquier proyecto, realizar la hibridación y la construcción de una planta solar fotovoltaica tiene consecuencias ambientales durante la instalación, el funcionamiento y el desmantelamiento de la planta. El suelo es uno de los aspectos que más se verá afectado, por la creación de caminos y la adecuación del terreno. Las consecuencias ambientales sobre el agua pueden ser reducidas con medidas de seguridad para no provocar vertidos que puedan afectar a la calidad del agua. La flora y la fauna se verá reducida en los terrenos de la instalación, pero pueden adaptarse fácilmente a zonas colindantes que cuentan con las mismas características. Los efectos sobre la salud pública y el patrimonio cultural son muy limitadas. El único impacto importante es el impacto visual, pero es una consecuencia que hay que asumir para reducir el uso de los gases de efecto invernadero que contaminan nuestro planeta.

7. Bibliografía

[ACCI20] Acciona, "Energía Solar Fotovoltaica Y Su Contribución". 2020.

https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894.

[ACCI22] Acciona, "¿Qué Es Un Aerogenerador Y Cómo Funciona?". 2022.

https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/?_adin=02021864894.

[AESO20] AE Solar "Tecnología PERC En Paneles Solares: ¿Qué Es Y Qué La Hace Ser Superior?". 2020. <https://ae-solar.mx/tecnologia-perc-en-paneles-solares/>.

[AESO22] AE Solar, "What Is Heterojunction Solar Panels". 2022. <https://ae-solar.com/heterojunction-modules/>.

[ALON22] Alonso Lorenzo, José Alfonso. "¿Qué Es Y Cómo Funciona Un Inversor Fotovoltaico?". *Sunfields*. 2022. <https://www.sfe-solar.com/noticias/autoconsumo/funcionamiento-inversor-fotovoltaico/>.

[ANSC12] Anscombe, Nadya. "Quasi-Mono Silicon: The Best of Both Worlds". *Novus Media Today*. 2012. <https://ig9we1q348z124x3t10meupc-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Quasi-Mono-Silicon-The-best-of-both-worlds.pdf>.

[ASIC22] Asicon Power, "Role Of Bus-Bar In PV Module". 2022.

<https://www.asiconpower.com/single-post/2018/08/09/role-of-bus-bar-in-pv-module>.

[BOCC22] Boccard, M. "Silicon-Based Heterojunction Solar Cells". *EPFL*. 2022.

https://www.epfl.ch/labs/pvlab/research/heterojunction_solar_cells/.

[DESO22] Deege Solar "Bifacial Solar Panels: What Are They & How Do They Work? | Solar Tech". 2022. https://www.deegesolar.co.uk/bifacial_solar_panels/.

[DSNE21] DS Nueva Energía, "Ventajas Y Desventajas De Las Células Solares GaAs". 2021.

<https://www.dsisolar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-gaas-solar-cel-54235622.html>.

[ECEA07] Ecologistas en Acción "Impacto Ambiental". 2007.

<https://www.ecologistasenaccion.org/10057/impacto->

[ambiental/#:~:text=El%20impacto%20medioambiental%20de%20las,escapes%20de%20sustancias%20peligrosas%20etc.](#)

[ENGP22] Enel Green Power, "La Energía Eólica".

2022. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica>.

[GERM22] Germán Cordero, Raúl. "Tipos De Placas Solares". *Sunfields*. 2022. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-de-placas-solares/>.

[GREE13] Green, Martin A. "Silicon Solar Cells: State Of The Art". *Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences* 371 (1996): 20110413. 2013. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0413>

[GRSA17] Green Sarawak, "Photovoltaic - Harvesting The Power Of The Sun". 2017. <https://greensarawak.com/photovoltaic-harvesting-the-power-of-the-sun/>.

[GWAT22] Global Wind Atlas "Global Wind Atlas". 2022. <https://globalwindatlas.info/>.

[HUAW22] Huawei, "SUN2000-185KTL-H1 Inversor De String Inteligente". 2022. <https://solar.huawei.com/es-ES/download?p=%2f-%2fmedia%2fSolar%2fattachment%2fpdf%2fes%2fdatasheet%2fSUN2000-185KTL-H1.pdf>.

[IBEE22] Iberdrola, "Qué Es La Energía Eólica, Cómo Funciona Y Sus Ventajas". 2022. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>.

[IBES22] Iberdrola, "Qué Es La Energía Solar Fotovoltaica". 2022. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>.

[IGNI22] Instituto Geográfico Nacional "España A Través De Los Mapas - Insolación Anual". 2022. *Instituto Geográfico Nacional*. https://www.ign.es/espmap/mapas_clima_bach/Mapa_clima_11.htm.

[IGNT22] "España A Través De Los Mapas - Temperatura Media Anual". 2022. *Instituto Geográfico Nacional*. https://www.ign.es/espmap/mapas_clima_bach/Mapa_clima_09.htm.

[INMF22] International Monetary Fund, "Spain And The IMF". 2022. <https://www.imf.org/en/Countries/ESP>.

[JAND04] Junta de Andalucía. 2004. "Boletín Oficial De La Junta De Andalucía Nº 228 Del 22/11/2004". Sevilla: Consejería de la Presidencia.

<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2004/228/boletin.228.pdf>

[JINK20] Jinko Solar, "Tilling Ribbon Technology". 2020.

<https://www.jinkosolar.com/en/site/welding>.

[JINK22] Jinko Solar, "Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV 550-570 Watt". 2022.

<https://jinkosolarcdn.shwebspace.com/uploads/JKM550-570N-72HL4-BDV-F2-EN.pdf>.

[KHAN16] Khan, Mohammad Aslam. 2016. *Light And Life - IYL Proceedings*. Islamabad.

https://www.researchgate.net/figure/Figure-3-PV-Grid-Connected-Systems-Configurations-a-Central-Inverters-b-String_fig49_325618123

[LOPE21] López de Benito, Javier. 2021. "Los Beneficios De La Hibridación Renovable Para El Sistema Eléctrico". *Energy News*. <https://www.energynews.es/beneficios-de-la-hibridacion-renovable/>.

[MANC22] Mancomunidad de Baza, "Sierra De Baza". 2022. *Mancomunidad De Baza*.

<https://www.mancomunidaddebaza.org/nuestra-comarca/naturaleza/sierra-de-baza/#:~:text=Destacan%20las%20rapaces%2C%20como%20el,ciervo%2C%20jabal%C3%AD%20y%20cabra%20montes>.

[MANU21] Manuell, Roy. "ICIS Long-Term Power - Rapid Solar Expansion To Drive Spanish Market To Discount To France And Germany By 2050". *ICIS Explore*. 2021.

<https://www.icis.com/explore/resources/news/2021/03/22/10620007/icis-long-term-power-rapid-solar-expansion-to-drive-spanish-market-to-discount-to-france-and-germany-by-2050/>.

[MAST13] Masters, Gilbert M. *Renewable And Efficient Electric Power Systems*. 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons Inc. 2013.

[MISB18] Misbrener, Kelsey. "How To Choose Between String And Central Inverters In Utility-Scale Installations". *Solar Power World*. 2018.

<https://www.solarpowerworldonline.com/2018/12/choose-between-string-and-central-inverters-utility-scale-solar/>.

[NOSO17] Novergy Solar, "Solar Cell Busbar And Cell Fingers Explained". 2017.

<https://www.novergysolar.com/solar-busbar-fingers-explained/>.

- [NOSO20] Novergy Solar, "Multi-Busbar Solar Cells: High Performance With Low Silver Consumption". 2020. <https://www.novergysolar.com/multi-busbar-solar-cells-high-performance-with-low-silver-consumption/>.
- [OEET22] Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy. "Cadmium Telluride". 2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/cadmium-telluride>.
- [OEEC22] Office Of Energy Efficiency & Renewable Energy. "Copper Indium Gallium Diselenide". 2022. <https://www.energy.gov/eere/solar/copper-indium-gallium-diselenide>.
- [OLPV22] Ollin PV, "Los Paneles Solares Del Silicio Cristalino Del Monocristal/Los Paneles Solares De La Casa De Gunes". 2022. <https://spanish.polycrystalline-solarpanel.com/sale-11872759-monocrystal-crystalline-silicon-solar-panels-gunes-house-solar-panels.html>.
- [POWE21] POWEN "Panel Solar Monocristalino Vs Policristalino". 2021. <https://powen.es/panel-solar-monocristalino-policristalino/>.
- [RENE21] Renewsys, "Solar Trackers". 2021. <https://www.renewsysworld.com/post/solar-trackers>.
- [REPS22] REPSOL, "Energía Eólica: Funcionamiento, Ventajas Y Aplicaciones". 2022. <https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/energia-eolica/index.cshtml>.
- [ROCA20] Roca, José A. 2020. "Investigadores Establecen Un Nuevo Récord Mundial De Eficiencia Del 32,9% Con Celdas Solares En Tándem De Arseniuro De Galio". *El Periódico De La Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/investigadores-establecen-un-nuevo-record-mundial-de-eficiencia-del-329-con-celdas-solares-en-tandem-de-arseniuro-de-galio/#:~:text=Las%20c%C3%A9lulas%20solares%20de%20arseniuro,del%20espectro%20solar%20para%20producir>.
- [SANZ21] Sanz, Miriam. 2021. "Diferencias Entre Inversores Centrales Y De Cadena". *Nextcity Labs*. <https://nextcitylabs.com/global/es/diferencias-entre-inversores-centrales-y-de-cadena/>.
- [SIAL22] Sialsol Home, "Panel Solar Policristalino 150 W 12V Alta Eficiencia". 2022. <https://www.sialsolhome.com/producto/panel-solar-policristalino-150-w-12v-alta-eficiencia/>.
- [SIEM22] "Servicios Para Aerogeneradores". 2022. *Siemens Gamesa*. <https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/service-wind>.

[SINO22] Sino Voltaics. "Double Glass Solar Panels". 2022. <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-panels/double-glass-solar-panels/>.

[SOMA22] Solar Magazine "Half-Cut Solar Panels: Pros & Cons | Worth Your Investment?". 2022. <https://solarmagazine.com/solar-panels/half-cut-solar-panels/>.

[SUNP22] Sunpower, "What Is PERC Solar Cell Technology?". 2022. <https://us.sunpower.com/solar-resources/what-perc-solar-cell-technology>

[TIEN22] Tiendafotovoltaica.es, "Panel Solar De Silicio Amorfo 12V/6Wp.". 2022. <https://www.tiendafotovoltaica.es/Panel-solar-de-silicio-amorfo-12V/6Wp>.

[UNIV22] Univergy Solar, "Paneles Solares Del 2022 ¿Cuáles Son Los Mejores?". 2022. <https://www.univergysolar.com/paneles-solares-del-2022-cuales-son-los-mejores/>.

ANEXO A: Datos de producción diaria de energía del Parque

Eólico Los Morrones

Fecha	Energía (kWh)	Fecha	Energía (kWh)	Fecha	Energía (kWh)
01-ene	2482,93	11-feb	4538,13	24-mar	17515,38
02-ene	7363,75	12-feb	4633,41	25-mar	10630,49
03-ene	4135,92	13-feb	4667,96	26-mar	31404,50
04-ene	802,84	14-feb	6600,41	27-mar	26875,13
05-ene	2139,73	15-feb	5887,17	28-mar	20843,97
06-ene	3982,61	16-feb	23632,99	29-mar	12593,50
07-ene	1223,48	17-feb	9160,16	30-mar	6383,91
08-ene	2793,38	18-feb	8071,31	31-mar	2405,63
09-ene	6878,52	19-feb	876,64	01-abr	2722,07
10-ene	3476,55	20-feb	578,00	02-abr	3651,84
11-ene	996,32	21-feb	1706,67	03-abr	15064,15
12-ene	762,55	22-feb	1567,18	04-abr	7374,08
13-ene	4158,18	23-feb	3650,29	05-abr	25382,82
14-ene	4739,25	24-feb	6905,59	06-abr	29718,36
15-ene	2822,95	25-feb	3715,40	07-abr	27854,68
16-ene	2499,49	26-feb	8145,50	08-abr	20288,13
17-ene	3937,55	27-feb	1639,53	09-abr	26093,92
18-ene	4524,56	28-feb	2391,76	10-abr	22674,27
19-ene	8850,44	01-mar	5123,15	11-abr	13947,11
20-ene	27294,10	02-mar	4608,68	12-abr	9059,13
21-ene	11125,71	03-mar	2100,86	13-abr	7241,86
22-ene	26648,41	04-mar	12037,25	14-abr	3816,26
23-ene	42299,62	05-mar	7621,89	15-abr	15859,65
24-ene	31196,74	06-mar	27380,42	16-abr	8556,78
25-ene	11218,13	07-mar	9537,14	17-abr	16334,17
26-ene	5066,61	08-mar	2427,64	18-abr	2693,63
27-ene	28356,35	09-mar	1677,82	19-abr	1414,77
28-ene	27476,96	10-mar	2364,57	20-abr	18929,48
29-ene	32262,67	11-mar	3607,47	21-abr	6441,08
30-ene	29805,89	12-mar	8218,65	22-abr	12383,49
31-ene	37007,98	13-mar	11274,20	23-abr	20936,33
01-feb	44301,80	14-mar	1110,31	24-abr	23941,58
02-feb	42024,66	15-mar	2171,03	25-abr	32288,22
03-feb	23805,08	16-mar	2949,82	26-abr	6566,39
04-feb	4460,66	17-mar	18651,43	27-abr	2484,10
05-feb	2561,66	18-mar	3673,08	28-abr	4843,36
06-feb	1971,10	19-mar	5484,32	29-abr	1294,76
07-feb	3557,34	20-mar	4390,66	30-abr	1651,48
08-feb	2736,99	21-mar	10254,40	01-may	1782,54
09-feb	2890,00	22-mar	9239,85	02-may	7607,30
10-feb	15422,02	23-mar	20989,22	03-may	6373,54

Fecha	Energía (kWh)
04-may	8484,13
05-may	12144,23
06-may	7252,13
07-may	5497,60
08-may	20885,95
09-may	10916,87
10-may	6867,21
11-may	3719,05
12-may	6175,48
13-may	5377,16
14-may	4016,71
15-may	11682,97
16-may	17310,31
17-may	31879,38
18-may	21313,42
19-may	12733,03
20-may	3857,57
21-may	1514,56
22-may	1111,78
23-may	1960,76
24-may	4613,95
25-may	4019,38
26-may	4323,29
27-may	6423,08
28-may	6613,77
29-may	4676,75
30-may	8566,31
31-may	13009,45
01-jun	9430,35
02-jun	3068,98
03-jun	1672,31
04-jun	10749,91
05-jun	22590,77
06-jun	8173,64
07-jun	7539,33
08-jun	8419,90
09-jun	8261,38
10-jun	8176,60
11-jun	10493,77
12-jun	4369,64
13-jun	4414,26
14-jun	14231,43
15-jun	5731,40
16-jun	3333,93
17-jun	3073,30

Fecha	Energía (kWh)
18-jun	8063,74
19-jun	6890,92
20-jun	7164,07
21-jun	3451,84
22-jun	2821,81
23-jun	4077,63
24-jun	1700,90
25-jun	3005,85
26-jun	4266,73
27-jun	11617,70
28-jun	17131,39
29-jun	5296,54
30-jun	3735,79
01-jul	3165,84
02-jul	1752,63
03-jul	4370,53
04-jul	6326,52
05-jul	7300,05
06-jul	16030,59
07-jul	20759,72
08-jul	13797,74
09-jul	5665,96
10-jul	3550,86
11-jul	1960,33
12-jul	3362,47
13-jul	12495,80
14-jul	13313,16
15-jul	12296,81
16-jul	3066,38
17-jul	4434,59
18-jul	2791,84
19-jul	5512,23
20-jul	1985,63
21-jul	7273,20
22-jul	14710,67
23-jul	15072,13
24-jul	7269,17
25-jul	3801,14
26-jul	13895,99
27-jul	25387,60
28-jul	4072,31
29-jul	4036,33
30-jul	3016,67
31-jul	11602,37
01-ago	2525,98

Fecha	Energía (kWh)
02-ago	2358,13
03-ago	1412,06
04-ago	4987,95
05-ago	5051,64
06-ago	10141,14
07-ago	14507,89
08-ago	7905,82
09-ago	10448,85
10-ago	7273,95
11-ago	10459,93
12-ago	5039,02
13-ago	4281,12
14-ago	1865,41
15-ago	1294,41
16-ago	1377,44
17-ago	2605,30
18-ago	4049,92
19-ago	4182,24
20-ago	3745,15
21-ago	8088,16
22-ago	7462,99
23-ago	7776,48
24-ago	2861,84
25-ago	5418,79
26-ago	8810,37
27-ago	2262,00
28-ago	1068,40
29-ago	1503,54
30-ago	918,44
31-ago	1606,59
01-sep	1621,91
02-sep	2584,41
03-sep	882,66
04-sep	2480,60
05-sep	3418,67
06-sep	4401,17
07-sep	4537,65
08-sep	1329,33
09-sep	6627,73
10-sep	29275,12
11-sep	25995,86
12-sep	24544,35
13-sep	26344,21
14-sep	18605,50
15-sep	5045,07

Fecha	Energía (kWh)
16-sep	1803,00
17-sep	2345,28
18-sep	1046,65
19-sep	1340,78
20-sep	6368,73
21-sep	3704,84
22-sep	7503,93
23-sep	2507,86
24-sep	5539,82
25-sep	6510,25
26-sep	1274,97
27-sep	3182,77
28-sep	1936,35
29-sep	2824,83
30-sep	1758,82
01-oct	18612,94
02-oct	14918,91
03-oct	5845,68
04-oct	2170,70
05-oct	2921,95
06-oct	3080,23
07-oct	3441,51
08-oct	1720,77
09-oct	1605,57
10-oct	5854,37
11-oct	4647,23
12-oct	2681,31
13-oct	5545,82
14-oct	21131,49
15-oct	5756,46
16-oct	1629,72
17-oct	2935,21
18-oct	2086,36
19-oct	12034,78
20-oct	16320,60
21-oct	1738,73

Fecha	Energía (kWh)
22-oct	2353,95
23-oct	18282,81
24-oct	12615,51
25-oct	1039,92
26-oct	862,66
27-oct	666,96
28-oct	1275,37
29-oct	4010,47
30-oct	3876,72
31-oct	15075,53
01-nov	24853,67
02-nov	32353,21
03-nov	41962,24
04-nov	32056,44
05-nov	36335,96
06-nov	13860,94
07-nov	25616,55
08-nov	29896,86
09-nov	14774,63
10-nov	39250,95
11-nov	21450,38
12-nov	16505,94
13-nov	32861,16
14-nov	39116,26
15-nov	23465,88
16-nov	13720,79
17-nov	23521,45
18-nov	21574,28
19-nov	2747,46
20-nov	6273,82
21-nov	9104,64
22-nov	25363,42
23-nov	43284,46
24-nov	23086,69
25-nov	24398,58
26-nov	11797,20

Fecha	Energía (kWh)
27-nov	26806,46
28-nov	9208,75
29-nov	5214,83
30-nov	5418,17
01-dic	8759,03
02-dic	8216,93
03-dic	25403,75
04-dic	10180,25
05-dic	8627,73
06-dic	13647,57
07-dic	1979,74
08-dic	7420,09
09-dic	6336,27
10-dic	3707,79
11-dic	22041,16
12-dic	26894,21
13-dic	42904,08
14-dic	15466,35
15-dic	4126,73
16-dic	10281,22
17-dic	6468,40
18-dic	6770,76
19-dic	22654,17
20-dic	45528,72
21-dic	45857,01
22-dic	40735,27
23-dic	10349,68
24-dic	1714,90
25-dic	2316,16
26-dic	4224,82
27-dic	3473,69
28-dic	591,50
29-dic	1571,72
30-dic	673,18
31-dic	755,38

ANEXO B: Listas de elementos

B.1 Lista de paneles solares a considerar

Marca	Modelo	Monofacial/Bifacial	Características	Potencia (Wp)	Eficiencia max	Tamaño	Peso (kg)
Trina Solar	Vertex 670W TSM-DEG21C.20	Bifacial	Bifacial Monocristalino PERC MBB	635-665	21,4	2384mm*1303mm	33,9
Trina Solar	Vertex 600W TSM-DEG20C.20	Bifacial	Bifacial Monocristalino PERC MBB	580-600	21,2	2172mm*1303mm	35,3
Trina Solar	Vertex 550W TSM-DEG19C.20	Bifacial	Bifacial Monocristalino PERC MBB	530-550	21	2384mm*1096mm	32,6
Trina Solar	Honey M TSM-DE08M.08(II)	Monofacial	Monofacial Monocristalino MBB Half-Cut	360-380	20,7	1763mm*1040mm	20
Trina Solar	Tallmax M TSM-DE17M(II)	Monofacial	Monofacial Monocristalino MBB Half-Cut	430-450	20,6	2102mm*1040mm	24
Longi	HI-MO 5 LR5-72HBD	Bifacial	Bifacial MBB Half Cell	530-550	21,5	2256mm*1133mm	32,3
Longi	HI-MO 5m LR5-72HPH	Monofacial	Monofacial Half Cell 9BB	535-555	21,7	2256mm*1133mm	27,2
Longi	HI-MO 4 LR4-72HBD	Bifacial	Bifacial Half Cell 9BB	440-460	21,2	2094mm*1038mm	27,5
Longi	HI-MO 4m LR4-66HPH	Monofacial	Monofacial Half Cell 9BB	405-425	21,3	1924mm*1038mm	22
Longi	HI-MO 4m LR4-72HPH	Monofacial	Monofacial Half Cell 9BB	445-465	21,4	2094mm*1038mm	24,3
Longi	HI-MO 4m LR4-60HPH	Monofacial	Monofacial Half Cell 9BB	365-385	21,1	1755mm*1038mm	19,5
Jinko	Tiger Neo N-Type 54HL4-B	Monofacial	N-Type 54 Half Cell All Black Monofacial SMBB	395-415	21,25	1722mm*1134mm	22
Jinko	Tiger Neo N-Type 54HL4-(V)	Monofacial	N-Type 54 Half Cell Monofacial SMBB	410-430	22,02	1722mm*1134mm	22
Jinko	Tiger Neo N-Type 60HL4-(V)	Monofacial	N-Type 60 Half Cell Monofacial SMBB	460-480	22,24	1903mm*1134mm	24,2
Jinko	Tiger Neo N-Type 72HL4-(V)	Monofacial	N-Type 72 Half Cell Monofacial SMBB	555-575	22,26	2278mm*1134mm	28
Jinko	Tiger Neo N-Type 72HL4-BDV	Bifacial	N-Type 72 Half Cell Bifacial with Dual Glass SMBB	550-570	22,07	2278mm*1134mm	32
Jinko	Tiger Neo N-Type 78HL4-(V)	Monofacial	N-Type 78 Half Cell Monofacial SMBB	595-615	22	2465mm*1134mm	30,6
Jinko	Tiger Neo N-Type 78HL4-BDV	Bifacial	N-Type 78 Half Cell Bifacial with Dual Glass SMBB	590-610	21,82	2465mm*1134mm	34,6
Jinko	Tiger Pro 54HC	Monofacial	P-Type 54 Half Cell Monofacial MBB	400-420	21,51	1722mm*1134mm	22
Jinko	Tiger Pro 60HC	Monofacial	P-Type 60 Half Cell Monofacial MBB	440-460	21,32	1903mm*1134mm	24,2
Jinko	Tiger N-Type 60TR	Monofacial	N-Type 60TR All Black Monofacial Tiling Ribbon MBB	355-375	21,53	1692mm*1029mm	19
Jinko	Tiger N-Type 60TR	Monofacial	N-Type 60TR Monofacial Tiling Ribbon MBB	360-380	21,81	1692mm*1029mm	19
Jinko	Tiger N-Type 66TR	Monofacial	N-Type 66 TR All Black Monofacial Tiling Ribbon MBB	395-415	21,74	1855mm*1029mm	20,8
Jinko	Tiger N-Type 66TR	Monofacial	N-Type 66TR Monofacial Tiling Ribbon MBB	400-420	22	1855mm*1029mm	20,8
Jinko	Tiger 66TR	Monofacial	P-Type Monofacial Tiling Ribbon Half Cell 9BB	390-410	21,48	1855mm*1029mm	20,8
Jinko	Tiger 78TR	Monofacial	P-Type Monofacial Tiling Ribbon Half Cell 9BB	470-490	21,82	2182mm*1029mm	25
JA Solar	JAM60D00/BP	Bifacial	60-Cell Bifacial Mono PERC Double Glass	290-310	18,5	1675mm*998mm	25,1
JA Solar	JAM72D00/BP	Bifacial	72-Cell Bifacial Mono PERC Double Glass	350-370	18,6	1993mm*998mm	30,3
JA Solar	JAM60S03/PR	Monofacial	60-Cell Mono PERC Half-Cell	300-320	19,2	1678mm*991mm	18,5
JA Solar	JAM72S03/PR	Monofacial	72-Cell Mono PERC Half-Cell	360-380	19,2	2000mm*991mm	22,5
JA Solar	JAP60S03/SC	Monofacial	60-Cell Poly Half-Cell	270-290	17,4	1678mm*991mm	18,5
JA Solar	JAP72S03/SC	Monofacial	72-Cell Poly Half-Cell	325-345	17,4	2000mm*991mm	22,5
JA Solar	JAM60S01/PR	Monofacial	60-Cell Mono PERC 5BB	290-310	19	1650mm*991mm	18,2
JA Solar	JAM72S01/PR	Monofacial	72-Cell Mono PERC 5BB	355-375	19,3	1960mm*991mm	22
JA Solar	JAP60S01/SC	Monofacial	60-Cell Poly 5BB	260-280	17,1	1650mm*991mm	18,2
JA Solar	JAP72S01/SC	Monofacial	72-Cell Poly 5BB	315-335	17,2	1960mm*991mm	22
JA Solar	JAM60D00/PR	Monofacial	60-Cell Mono PERC Double Glass	290-310	18,8	1658mm*992mm	23
JA Solar	JAM72D00/PR	Monofacial	72-Cell Mono PERC Double Glass	350-370	19	1968mm*992mm	28
JA Solar	JAP60D00/SC	Monofacial	60-Cell Poly Double Glass	260-280	17	1658mm*992mm	23
JA Solar	JAP72D00/SC	Monofacial	72-Cell Poly Double Glass	315-335	17,2	1968mm*992mm	28

Marca	Modelo	Monofacial/Bifacial	Características	Potencia (Wp)	Eficiencia max	Tamaño	Peso (kg)
Canadian Solar	BIHIKu7 CS7N-640	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	640-665	21,4	2384mm*1303mm	37,9
Canadian Solar	BIHIKu7 CS7N-575	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	575-600	21,2	2172mm*1303mm	34,6
Canadian Solar	HIKu7 CS7L-580	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	580-610	21,6	2172mm*1303mm	31
Canadian Solar	HIKu7 CS7N-640	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	640-670	21,6	2384mm*1303mm	34,4
Canadian Solar	BIHIKu6 CS6W	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	520-550	21,4	2266mm*1134mm	32,2
Canadian Solar	HIKu6 CS6W-530	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	530-555	21,6	2261mm*1134mm	27,6
Canadian Solar	HIKu6 CS6R-395	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	395-420	21,5	1722mm*1134mm	21,3
Canadian Solar	HIKu6 (All-Black) CS6R-380	Monofacial	High Power Dual Cell All Black PERC Monocristalino MBB	380-405	20,7	1722mm*1134mm	21,3
Canadian Solar	HIHero CS6R-415	Monofacial	High Efficiency Heterojunction Technology MBB	415-440	22,5	1722mm*1134mm	23
Canadian Solar	BIHIKu CS3W-400	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Policristalino MBB	400-425	19	2132mm*1048mm	28,4
Canadian Solar	BIHIKu CS3W-435	Bifacial	Bifacial High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	435-360	20,6	2132mm*1048mm	28,4
Canadian Solar	HIKu CS3W-405	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Policristalino MBB	405-430	19,5	2108mm*1048mm	24,3
Canadian Solar	HIKu CS3W-435	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	435-465	21	2108mm*1048mm	24,3
Canadian Solar	HIKu CS3L-335	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Policristalino MBB	335-360	19,5	1765mm*1048mm	20,5
Canadian Solar	HIKu CS3L	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	360-385	20,8	1765mm*1048mm	20,5
Canadian Solar	HIKu CS3N-400	Monofacial	High Power Dual Cell PERC Monocristalino MBB	400-425	20,9	1940mm*1048mm	22,5
Canadian Solar	HIKuBlack CS3L-350	Monofacial	All Black High Power PERC Monocristalino MBB	350-370	20	1765mm*1048mm	20,5

B.2 Lista de inversores a considerar

Marca	Modelo	Voltaje CC Máximo (V)	Potencia Nominal Activa CA (W)	Máx. Potencia Aparente de CA (VA)	Eficiencia Máxima (%)
Huawei	SUN2000-185KTL-H1	1500	185000	185000	99,03
Huawei	SUN2000-100KTL-M1	1100	100000	110000	98,8
Huawei	SUN2000-60KTL-M0	1100	60000	66000	98,9
Huawei	SUN2000-40KTL-M3	1100	40000	44000	98,7
Huawei	SUN2000-36KTL-M3	1100	36000	40000	98,7
Huawei	SUN2000-30KTL-M3	1100	30000	33000	98,7
Huawei	SUN2000-20KTL-M2	1080	20000	22000	98,65
Huawei	SUN2000-17KTL-M2	1080	17000	18700	98,65
Huawei	SUN2000-15KTL-M2	1080	15000	16500	98,65
Huawei	SUN2000-12KTL-M2	1080	12000	13200	98,5
SolarEdge	SE3K	900	3000	3000	98
SolarEdge	SE4K	900	4000	4000	98
SolarEdge	SE5K	900	5000	5000	98
SolarEdge	SE6K	900	6000	6000	98
SolarEdge	SE7K	900	7000	7000	98
SolarEdge	SE8K	900	8000	8000	98
SolarEdge	SE9K	900	9000	9000	98
SolarEdge	SE10K	900	10000	10000	98
SolarEdge	SE12,5K	1000	12500	12500	98
SolarEdge	SE16K	1000	16000	16000	98
SolarEdge	SE17K	1000	17000	17000	98
SolarEdge	SE20K	1000	20001	20001	98
SolarEdge	SE33,3K	1000	33300	33300	98,1
SolarEdge	SE50K	1000	50000	50000	98,3
SolarEdge	SE55K	1000	55200	55200	98,3
SolarEdge	SE66,6K	1000	66600	66600	98,1
SolarEdge	SE82,8K	1000	82800	82800	98,3
SolarEdge	SE100K	1000	100000	100000	98,1
SMA	Sunny Tripower 15000TL	1000	15000	15000	98,4
SMA	Sunny Tripower 20000TL	1000	20000	20000	98,4
SMA	Sunny Tripower 25000TL	1000	25000	25000	98,3
SMA	Sunny Tripower X 12	1000	12000	12000	98,2
SMA	Sunny Tripower X 15	1000	15000	15000	98,2
SMA	Sunny Tripower X 20	1000	20000	20000	98,2
SMA	Sunny Tripower X 25	1000	25000	25000	98,2
SMA	Sunny Tripower 5.0 Smart Energy	1000	5000	5000	98,2
SMA	Sunny Tripower 6.0 Smart Energy	1000	6000	6000	98,2
SMA	Sunny Tripower 8.0 Smart Energy	1000	8000	8000	98,2
SMA	Sunny Tripower 10.0 Smart Energy	1000	10000	10000	98,1
SMA	Sunny Highpower 100-20	1000	100000	100000	98,8
SMA	Sunny Highpower 150-21	1500	150000	150000	99,1
Fronius	Tauro 50-3-D	1000	50000	50000	98,5
Fronius	Tauro ECO 50-3D	1000	50000	50000	98,5

Marca	Modelo	Voltaje CC Máximo (V)	Potencia Nominal Activa CA (W)	Máx. Potencia Aparente de CA (VA)	Eficiencia Máxima (%)
Fronius	Tauro ECO 99-3D	1000	99990	99990	98,5
Fronius	Tauro ECO 100-3-D	1000	100000	100000	98,5
Fronius	ECO 25.0-3-S	1000	25000	25000	98,2
Fronius	ECO 27.0-3-S	1000	27000	27000	98,3

ANEXO C: Informe PVsyst 7.2 para planta solar 1MWp



Project: TFG_1

Variant: TFG

PVsyst V7.2.16

VC0. Simulation date:
21/06/22 12:36
with v7.2.16

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Tracking algorithm	Trackers configuration
Orientation Tracking plane, horizontal N-S axis Axis azimuth 0 °		Astronomic calculation	No 3D scene defined
Models used			
Transposition	Perez		
Diffuse	Perez, Meteonom		
Circumsolar	separate		
Horizon		Near Shadings	User's needs
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM-570N-72HL4-BDV	Model	SUN2000-185KTL-H1
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	570 Wp	Unit Nom. Power	175 kWac
Number of PV modules	1755 units	Number of inverters	5 units
Nominal (STC)	1000 kWp	Total power	875 kWac
Modules	65 Strings x 27 In series	Operating voltage	550-1500 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>30°C)	185 kWac
Pmpp	925 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.14
U mpp	1051 V		
I mpp	880 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	1000 kWp	Total power	875 kWac
Total	1755 modules	Number of inverters	5 units
Module area	4534 m²	Pnom ratio	1.14

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		DC wiring losses				
Loss Fraction	3.0 %	Module temperature according to irradiance		Global array res.	19 mΩ			
		Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC			
		Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s					
LID - Light Induced Degradation		Module Quality Loss		Module mismatch losses				
Loss Fraction	2.0 %	Loss Fraction		Loss Fraction	2.0 % at MPP			
Strings Mismatch loss								
Loss Fraction	0.1 %							
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

System losses

Unavailability of the system		Auxillaries loss	
Time fraction	2.0 %		
	7.3 days,		
	3 periods		



PVsyst V7.2.16

VCO, Simulation date:
21/06/22 12:36
with v7.2.16

Main results

System Production

Produced Energy

2184 MWh/year

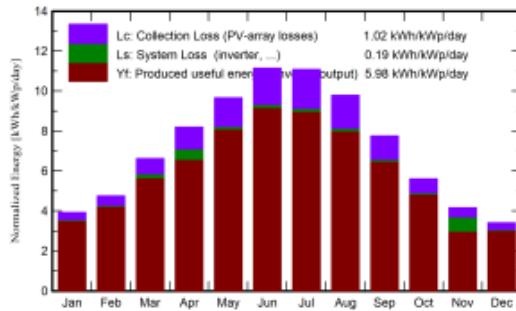
Specific production

2184 kWh/kWp/year

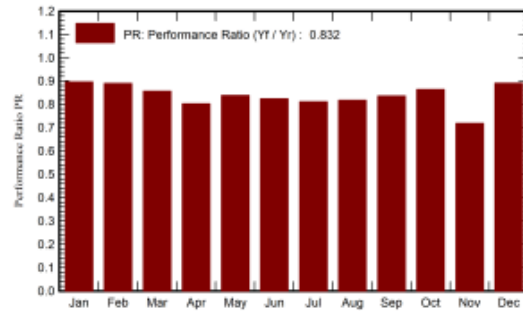
Performance Ratio PR

83.20 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



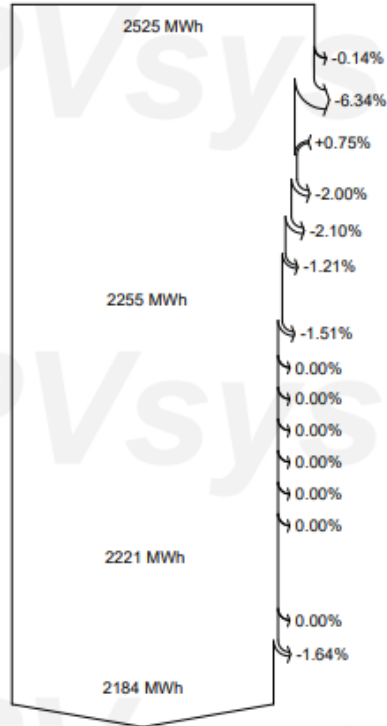
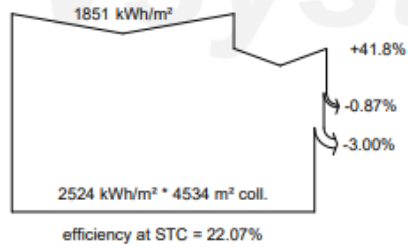
Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	ratio
January	79.6	26.66	2.99	121.8	115.9	110.7	109.3	0.897
February	94.8	32.05	4.82	133.1	127.4	120.2	118.6	0.890
March	143.8	54.84	8.32	205.4	197.3	182.1	175.9	0.856
April	177.4	54.21	11.28	246.0	237.0	213.5	197.6	0.803
May	215.7	66.08	15.95	299.6	288.9	255.3	251.3	0.838
June	238.3	61.41	21.36	334.3	322.7	280.1	275.6	0.824
July	245.3	55.84	24.55	343.5	331.8	283.4	278.8	0.811
August	214.5	58.81	24.10	303.7	293.0	252.4	248.4	0.818
September	162.1	47.30	18.81	232.7	224.2	197.7	194.6	0.836
October	121.8	44.80	13.96	173.8	166.6	152.4	150.2	0.864
November	84.3	24.89	7.06	124.8	118.9	111.5	89.7	0.719
December	73.5	25.79	3.80	105.7	100.1	95.5	94.2	0.891
Year	1851.1	552.69	13.13	2624.6	2523.8	2254.8	2184.3	0.832

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio

Loss diagram



Global horizontal irradiation
Global incident in coll. plane

IAM factor on global
 Soiling loss factor

Effective irradiation on collectors

PV conversion

Array nominal energy (at STC effic.)

PV loss due to irradiance level

PV loss due to temperature

Module quality loss

LID - Light induced degradation

Mismatch loss, modules and strings

Ohmic wiring loss

Array virtual energy at MPP

Inverter Loss during operation (efficiency)

Inverter Loss over nominal inv. power

Inverter Loss due to max. input current

Inverter Loss over nominal inv. voltage

Inverter Loss due to power threshold

Inverter Loss due to voltage threshold

Night consumption

Available Energy at Inverter Output

Auxiliaries (fans, other)

System unavailability

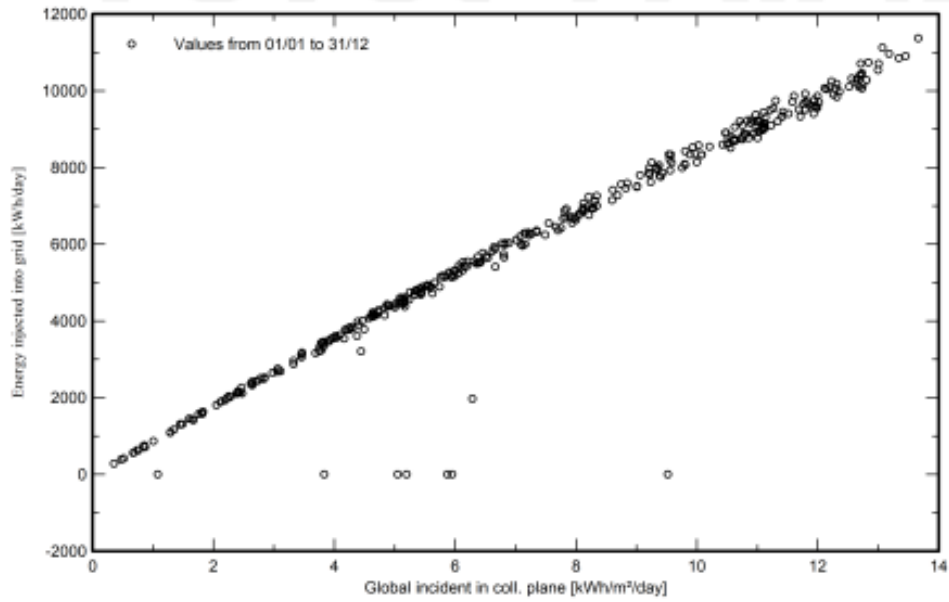
Energy injected into grid



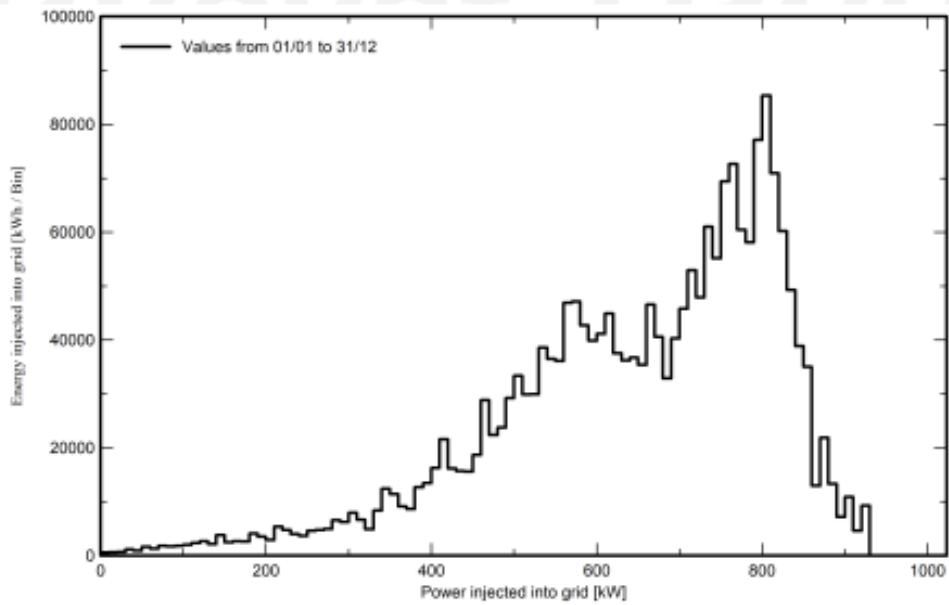
PVsyst V7.2.16
VCO, Simulation date:
21/06/22 12:38
with v7.2.16

Special graphs

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de potencia de salida del sistema



ANEXO D: Flujos de caja en miles de €

Flujos de caja	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Ingresos	- €	8.939 €	8.359 €	7.751 €	7.072 €	6.910 €	6.778 €	6.739 €	6.782 €	6.779 €	6.816 €
CAPEX	-19.583 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
OPEX	- €	-1.706 €	-1.733 €	-1.762 €	-1.792 €	-1.828 €	-1.865 €	-1.902 €	-1.940 €	-1.979 €	-2.018 €
Impuestos	- €	-626 €	-585 €	-543 €	-495 €	-484 €	-474 €	-472 €	-475 €	-475 €	-477 €
FC	-19.583 €	6.607 €	6.041 €	5.446 €	4.784 €	4.598 €	4.439 €	4.365 €	4.367 €	4.325 €	4.320 €

Flujos de caja	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Ingresos	7.047 €	6.829 €	6.570 €	6.111 €	6.288 €	6.448 €	5.856 €	6.288 €	6.357 €	6.002 €
CAPEX	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
OPEX	-2.059 €	-2.100 €	-2.142 €	-2.185 €	-2.229 €	-2.273 €	-2.319 €	-2.365 €	-2.412 €	-2.461 €
Impuestos	-493 €	-478 €	-460 €	-428 €	-440 €	-451 €	-410 €	-440 €	-445 €	-420 €
FC	4.494 €	4.251 €	3.968 €	3.498 €	3.619 €	3.724 €	3.127 €	3.483 €	3.499 €	3.122 €

Flujos de caja	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
Ingresos	6.019 €	6.265 €	6.194 €	6.061 €	6.023 €	5.902 €	5.921 €	5.864 €	5.869 €	5.843 €
CAPEX	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
OPEX	-2.510 €	-2.560 €	-2.611 €	-2.663 €	-2.717 €	-2.771 €	-2.826 €	-2.883 €	-2.941 €	-2.999 €
Impuestos	-421 €	-439 €	-434 €	-424 €	-422 €	-413 €	-414 €	-411 €	-411 €	-409 €
FC	3.088 €	3.267 €	3.149 €	2.973 €	2.885 €	2.718 €	2.680 €	2.571 €	2.518 €	2.434 €

ANEXO E: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Este proyecto está alineado principalmente con dos Objetivos de Desarrollo Sostenible, cuyo objetivo es reducir la pobreza, proteger el planeta ya garantizar la prosperidad de la población mundial.

El primer objetivo con el que se puede asociar este proyecto es el Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Este proyecto de hibridación solar de un parque eólico garantiza estas cuatro condiciones. La mayor penetración de energías renovables en el mercado eléctrico, y en este caso en España, que dispone de un gran recurso solar y eólico, causará una reducción de los precios de la energía. La energía solar, aunque requiere una gran inversión al principio, tiene unos costes de mantenimiento bajos en comparación con otras energías. Esta generación eléctrica más moderna y segura dará lugar a una red más eficiente y fiable. Al realizar la hibridación del parque eólico y la planta solar fotovoltaica, se mejora la eficiencia del punto de acceso a la red. De esta forma, la sociedad se ve beneficiada con una red eléctrica mejor y libre de emisiones contaminantes.

El segundo objetivo de desarrollo sostenible que se alinea con este proyecto es el Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Este objetivo se encuentra interrelacionado con el anterior, y es una consecuencia de éste. El aumento de la generación eléctrica a través de fuentes renovables implica una menor dependencia en fuentes de energía no renovables, que son las principales emisoras de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La hibridación de solar y eólica, en este caso, es una alternativa perfecta puesto que tanto el sol como el viento son recursos inagotables que estarán siempre a nuestra disposición. Los beneficios de la reducción de emisiones de CO₂ son principalmente para la población y la biosfera, que están sufriendo los cambios y las consecuencias del aumento de la temperatura global debido al efecto invernadero.

Por tanto, este proyecto contribuye a las metas fomentadas por los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es responsabilidad de todos contribuir a construir un futuro mejor y más sostenible.