



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA EN UNA VIVIENDA RURAL

Autor: Sofía Basagoiti Fernández de Mesa

Director: Carlos Fuertes Kronberg

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Viabilidad de una instalación fotovoltaica aislada en una vivienda rural”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 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.: Sofía Basagoiti Fernández de Mesa

Fecha: 29/ 12/ 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Carlos Fuertes Kronberg

Fecha: 29/ 12/ 2023



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA EN UNA VIVIENDA RURAL

Autor: Sofía Basagoiti Fernández de Mesa

Director: Carlos Fuertes Kronberg

Madrid

VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA EN UNA VIVIENDA RURAL

Autor: Basagoiti Fernández de Mesa, Sofía.

Director: Fuertes Kronberg, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como objetivo proporcionar autonomía energética a una explotación ganadera ubicada en la provincia de Badajoz, Extremadura. Esta autonomía se consigue mediante la implementación de un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica. El proyecto apuesta por la sostenibilidad al optar por este sistema de suministro de energía renovable. Asimismo, se presenta un análisis de la viabilidad económica del proyecto, recalcando los beneficios que obtendría el consumidor.

Palabras clave: Energías renovables, energía solar, sistema fotovoltaico aislado, autoconsumo, vivienda rural, explotación ganadera.

1. Introducción

El cuidado del medioambiente es un desafío que está presente a nivel global. Hasta hace pocos años, la principal fuente de producción de energía se basaba en recursos fósiles como petróleo, gas y carbón. La escasez de estos recursos impulsa la búsqueda de alternativas energéticas considerando los impactos ambientales negativos asociados con la generación de energía a partir de fuentes fósiles. Otro gran problema es la falta de acceso a estas fuentes de energía, que están en manos de los países que albergan dichos recursos fósiles. En este contexto, la situación geopolítica desempeña un papel crucial en el mercado de la energía. En el caso de este proyecto situado en España, los eventos internacionales, como el conflicto entre Ucrania y Rusia, generan incertidumbres en las negociaciones y suministros de recursos, como es el gas o el petróleo. Esta situación geopolítica, combinada con otros factores, contribuye a la inestabilidad en los precios y afecta a los consumidores, quienes experimentan aumentos significativos en sus facturas eléctricas.

La respuesta a estos desafíos se encuentra en las energías renovables, cuyas ventajas principales incluyen su gratuidad, como es el caso de la energía solar, eólica o hidráulica, que están disponibles en cualquier región. Además, estas fuentes renovables ofrecen una mayor independencia entre países. El avance de las nuevas tecnologías está contribuyendo significativamente a empujar el desarrollo de las energías renovables.

En la situación concreta de España, se ha conocido un incremento de las instalaciones fotovoltaicas en los últimos años, debido a que es un territorio que cuenta con una alta radiación solar. Se han instalado sistemas fotovoltaicos de distintas naturalezas. En este

proyecto, en particular, se analiza los beneficios económicos y sostenibles asociados a la instalación de un sistema fotovoltaico aislado de la red. Es relevante subrayar la importancia de alinear los objetivos del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

2. Definición del proyecto

El proyecto se enfoca en asegurar el autoconsumo fotovoltaico para una explotación ganadera. Dado el alto consumo de energía en la explotación, lograr la autosuficiencia energética representaría un ahorro significativo para los propietarios, al mismo tiempo que contribuiría de manera positiva a la lucha contra la contaminación ambiental. La explotación se divide en tres instalaciones independientes: la residencia principal utilizada por la familia propietaria, la residencia de los empleados que trabajan en la explotación y, por último, las naves donde se cría al ganado, en este caso se corresponde a la cría de cerdos.

Se ha llevado a cabo un análisis de los patrones de consumo en las tres instalaciones de la explotación para el dimensionamiento adecuado del sistema. Al examinar los consumos mensuales a lo largo del año, se ha diseñado el sistema tomando como referencia el mes de mayor consumo. Esto asegura que el sistema pueda hacer frente a los consumos máximos que puedan surgir. Ambas viviendas presentan una curva de consumo similar, con picos máximos durante la noche. Por otro lado, las naves exhiben un perfil diferente, con su mayor consumo durante el día. Las instalaciones de las dos viviendas son muy similares, mientras que la correspondiente a las naves es mayor debido al consumo que representa el 55% del consumo total de la explotación además de que sus dimensiones en términos de superficie son mucho mayores.

Otro aspecto clave para el buen dimensionamiento del proyecto es tener en cuenta las condiciones de radiación solar en la ubicación de la explotación. Al encontrarse en la comunidad extremeña, hay una radiación considerable. Las horas pico obtenidas en las coordenadas exactas corresponde a 4,58 horas solar pico, según datos proporcionados del software Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).

Se ha optado por sistemas fotovoltaicos de 48 V para las tres instalaciones de la explotación. Estos sistemas constan de un circuito de corriente continua que incluye módulos fotovoltaicos conectados a un regulador de carga. Este regulador, a su vez, está vinculado a las baterías, y de estas, la conexión se realiza al inversor-cargador. Desde el inversor-cargador, hay una salida que se conecta al grupo electrógeno, y del inversor se deriva la conexión al consumo de las viviendas y las naves en corriente alterna, como se muestra en la ilustración 1.

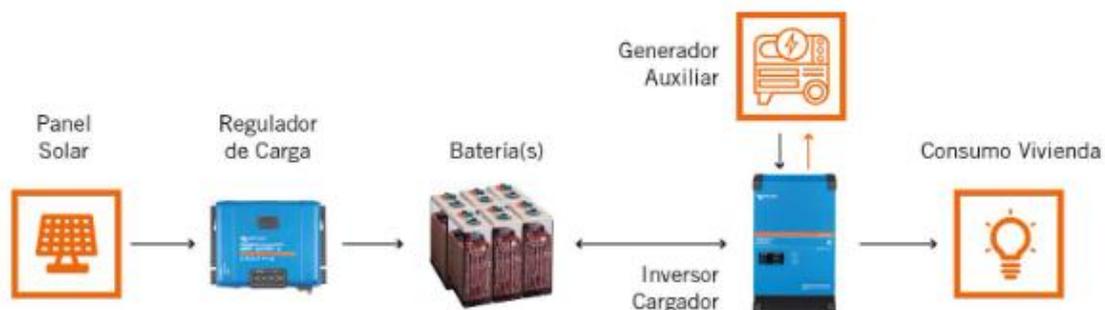


Ilustración 1 – Esquema de funcionamiento de un sistema FV aislado con grupo electrógeno [2]

Basándonos en la información recopilada sobre los consumos y la radiación del lugar, se ha llevado a cabo un estudio de mercado comparativo entre varias marcas y modelos de los distintos equipos requeridos para la instalación. Este proceso también incluye la determinación del número de módulos fotovoltaicos y su disposición, considerando un límite calculado de módulos en serie permitidos por cada instalación.

Tras el diseño de la instalación se ha realizado un estudio económico para valorar la viabilidad del proyecto.

3. Resultados

Para evaluar la viabilidad del proyecto se han utilizado indicadores financieros tales como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El periodo de estudio es de 25 años. Se ha calculado los gastos de capital de la instalación (CAPEX) y los gastos operativos (OPEX), y mediante las facturas de la luz desde octubre 2022 hasta agosto 2023, se ha estimado el ahorro económico que supondría la implantación del sistema.

La ilustración 2 muestra claramente que se recupera la inversión inicial en el año 8. La tabla 1 muestra el TIR siendo este del 12%, así como el VAN correspondiente a esa tasa de descuento, concluyendo que el proyecto no es rentable para tasas de descuento más elevadas. Se presenta también el periodo de recuperación (Payback) del proyecto, que es prácticamente de 7 años, aunque los beneficios se evidencian a partir del año 8.

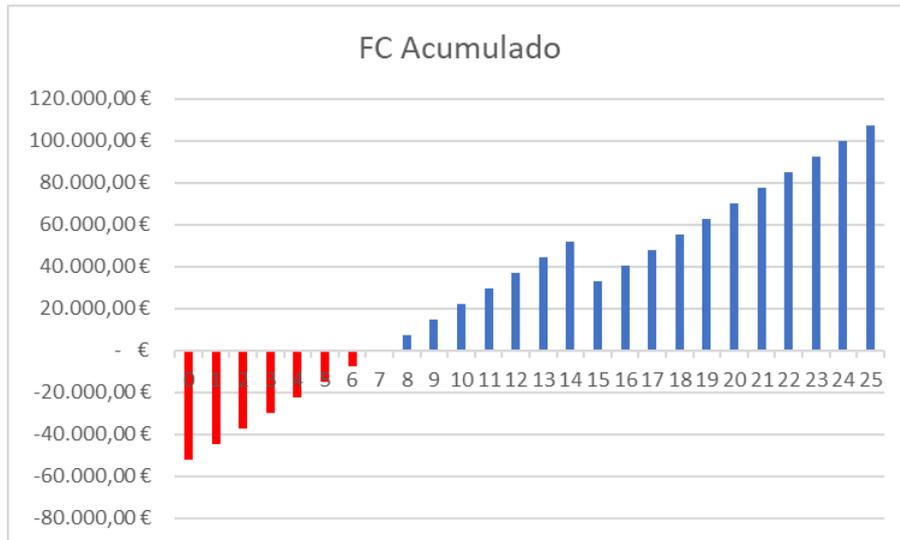


Ilustración 2 – Flujo de caja acumulado del proyecto en un periodo de 25 años

VAN	1.212,11 €
TIR	12,36%
PAYBACK	7,03

Tabla 1: VAN, TIR y PAYBACK de la instalación

4. Conclusiones

El propósito de este proyecto ha sido desarrollar un sistema fotovoltaico que libere a la explotación de su dependencia de la red eléctrica. El diseño se ha implementado dividiendo los componentes de la explotación en subsistemas independientes, permitiendo así un ahorro de material y la mejora considerable de la fiabilidad del sistema en conjunto. La elección de realizar un sistema fotovoltaico aislado combinado con grupos electrógenos ha permitido garantizar el suministro eléctrico de la explotación.

Además, la implantación de este sistema ha convertido a la explotación en un negocio familiar que pasa a mejorar su impacto en el medio ambiente. Las residencias de la explotación pasarían a ser sostenibles. Este proyecto se alinea con los Objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030, llevando a las zonas rurales tecnología innovadora en términos de energías renovables y haciendo así partícipes a estas áreas de este compromiso sostenible.

El estudio de viabilidad económica indica que la inversión se amortizaría a partir del octavo año de vida de la instalación. Según los indicadores financieros del VAN y el TIR, se establece que la tasa de descuento límite para que la instalación sea rentable es del 12%.

El diseño meticuloso del proyecto y el análisis de viabilidad económica proporcionan a la familia propietaria la información necesaria para tomar decisiones informadas sobre la inversión en el proyecto.

5. Referencias

- [1] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission*. (2016, January 11). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html
- [2] (S/f). *Obramat.es*. Recuperado el 21 de diciembre de 2023, de <https://www.obramat.es/asesoramiento-profesional/construccion-reformas-instalacion/sistema-fotovoltaico-aislado>

FEASIBILITY OF AN OFF-GRID PHOTOVOLTAIC INSTALLATION IN A RURAL HOUSE

Author: Basagoiti Fernández de Mesa, Sofía.

Supervisor: Fuertes Kronberg, Sofía.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project aims to provide energy autonomy to a livestock farm located in the region of Badajoz, Extremadura. This autonomy is achieved through the implementation of a photovoltaic system isolated from the grid. The project is committed to sustainability by opting for this renewable energy supply system. An analysis of the economic viability of the project is also presented, highlighting the benefits to the consumer.

Keywords: Renewable energies, solar energy, isolated photovoltaic system, self-consumption, rural housing, livestock farming.

1. Introduction

Caring for the environment is a challenge that is present on a global level. Until a few years ago, the main source of energy production was based on fossil resources such as oil, gas, and coal. The lack of these resources is driving the search for energy alternatives considering the negative environmental impacts associated with the generation of energy from fossil fuels. Another major problem is the lack of access to these energy sources, which are in the hands of the countries that host these fossil resources. In this context, the geopolitical situation plays a crucial role in the energy market. In the case of this project located in Spain, international events, such as the conflict between Ukraine and Russia, generate uncertainties in the negotiations and supply of resources, such as gas or oil. This geopolitical situation, combined with other factors, contributes to price instability, and affects consumers, who experience significant increases in their electricity bills.

The answer to these challenges lies in renewable energies, whose main advantages include the fact that they are free of charge, as in the case of solar, wind and hydroelectric power, which are available in any region. In addition, these renewable sources offer greater independence between countries. The progress of new technologies is contributing significantly to the development of renewable energies.

In the situation of Spain, there has been an increase in the number of photovoltaic installations in recent years, since it is a territory with high solar radiation. Photovoltaic systems of different natures have been installed. This project analyses the economic and sustainable benefits associated with the installation of an off-grid photovoltaic system. It is relevant to underline the significance of aligning the project objectives with the Sustainable Development Goals (SDGs).

2. Project definition

The project focuses on ensuring photovoltaic self-consumption for a livestock farm. Given the high energy consumption on the farm, achieving energy self-sufficiency would represent significant savings for the owners, while at the same time making a positive contribution to the fight against environmental pollution. The farm is divided into three independent facilities: the main residence used by the owner family, the residence of the employees working on the farm and, finally, the buildings where the livestock is raised, in this case corresponding to the raising of pigs.

An analysis of the consumption patterns in the three facilities of the farm has been carried out for the adequate sizing of the system. By examining the monthly consumptions throughout the year, the system has been designed taking as a reference the month of highest consumption. This ensures that the system can cope with the peak consumption that may arise. Both houses show a similar consumption curve, with maximum peaks during the night. On the other hand, the warehouses exhibit a different profile, with their highest consumption during the day. The installations of the two residences are very similar, while the one corresponding to the warehouses is higher due to the consumption that represents 55% of the total consumption of the farm, in addition to the fact that their dimensions in terms of surface area are much larger.

Another key aspect for the good sizing of the project is to consider the solar radiation conditions at the location of the farm. Since it is in the Extremadura region, there is considerable radiation. The peak hours obtained at the exact coordinates correspond to 4.58 peak solar hours, according to data provided by the Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) software.

For all three of the farm's installations, 48 V photovoltaic systems have been chosen. These systems consist of a DC circuit that includes photovoltaic modules connected to a charge regulator. This regulator, as well, is linked to the batteries, and from these, the connection is made to the inverter-charger. From the inverter-charger, there is an output that is connected to the generator set, and from the inverter is connected to the AC power consumption of the houses and warehouses, as shown in Figure 1.

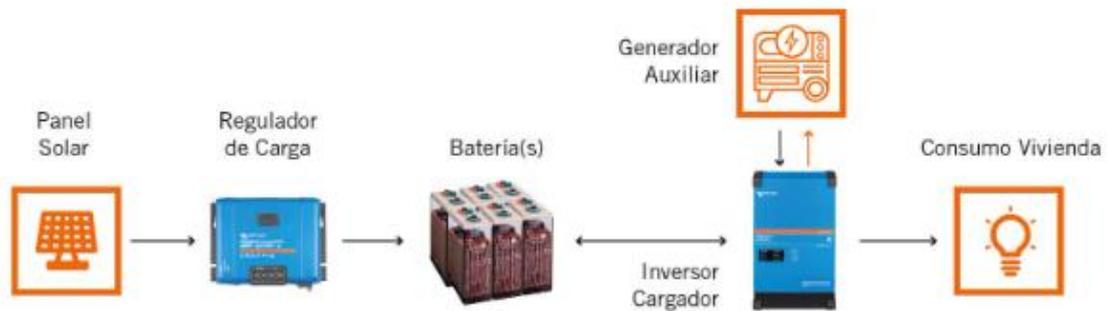


Illustration 1 - Diagram of the operation of an isolated PV system with generator set [2]

Based on the information gathered on the consumption and radiation of the location, a comparative market study has been carried out between various brands and models of the different equipment required for the installation. This process also included the determination of the number of photovoltaic modules and their arrangement, considering a calculated limit of modules in series allowed for each installation.

Following the design of the installation, an economic study was made to evaluate the feasibility of the project.

3. Results

Financial indicators such as the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR) have been used to evaluate the feasibility of the project. The study period is 25 years. The capital expenditures of the installation (CAPEX) and operating expenses (OPEX) have been calculated, and using the electricity bills from October 2022 to August 2023, the economic savings that would result from the implementation of the system have been estimated.

Illustration 2 clearly shows that the initial investment is recovered in year 8. Table 1 shows the IRR of 12%, as well as the NPV corresponding to that discount rate, concluding that the project is not profitable for higher discount rates. The Payback period of the project is also presented, which is practically 7 years, although the benefits are evident from year 8 onwards.

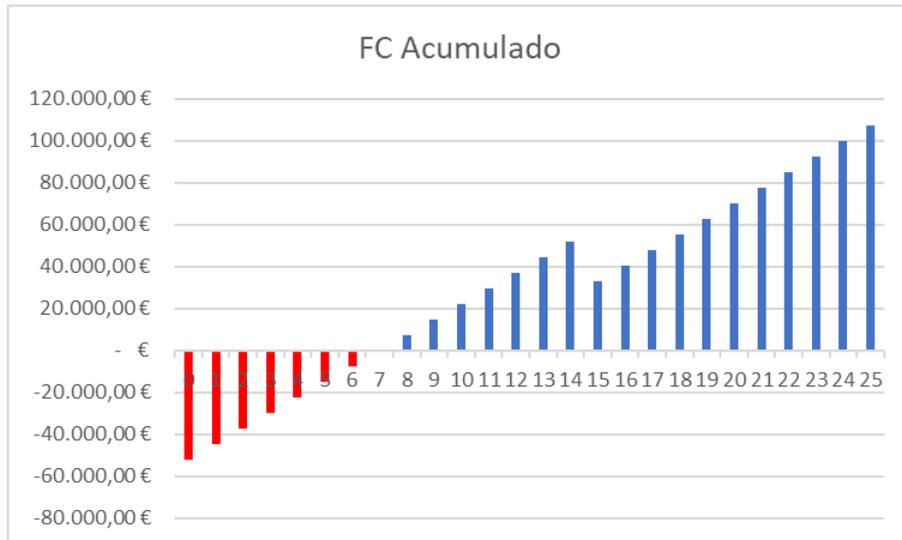


Illustration 3 – Accumulated cash flow of the project over a 25-year period

NPV	1.212,11 €
IRR	12,36%
PAYBACK	7,03

Table 1: NPV, IRR and PAYBACK of the facility

4. Conclusions

The purpose of this project has been to develop a photovoltaic system that frees the farm from its dependence on the grid. The design was implemented by dividing the farm's components into independent subsystems, thus saving material, and considerably improving the reliability of the system as a whole. The choice of an isolated photovoltaic system combined with generator sets has made it possible to guarantee the farm's electricity supply.

In addition, the implementation of this system has turned the farm into a family business that is improving its impact on the environment. The farm's residences would become sustainable. This project is aligned with the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda, bringing innovative technology in terms of renewable energy to rural areas and thus involving these areas in this sustainable commitment.

The economic feasibility study indicates that the investment would be amortized from the eighth year of the installation's life. According to the NPV and IRR financial indicators, it is established that the discount rate limit for the installation to be profitable is 12%.

The meticulous design of the project and the economic feasibility analysis provide the owner family with the necessary information to make informed decisions about investing in the project.

5. References

- [1] JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. (2016, January 11). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html
- [2] (S/f). Obramat.es. Recuperado el 21 de diciembre de 2023, de <https://www.obramat.es/asesoramiento-profesional/construccion-reformas-instalacion/sistema-fotovoltaico-aislado>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Motivación del proyecto.....	8
1.2 Objetivos del estudio	9
1.3 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....	11
Capítulo 2. Energía solar fotovoltaica	13
2.1 Fundamentos teóricos.....	13
2.1.1 Principios básicos de la energía solar fotovoltaica	13
2.1.2 Materiales utilizados en células fotovoltaicas.....	14
2.1.3 Factores que impactan en la eficiencia de los paneles solares.....	15
2.2 Componentes de un sistema fotovoltaico	17
2.2.1 Panel solar fotovoltaico	17
2.2.2 Regulador de carga	18
2.2.3 Baterías	19
2.2.4 Inversor	21
2.3 Ventajas y limitaciones de la energía solar fotovoltaica	22
Capítulo 3. Análisis de la vivienda y consumo energético	24
3.1 Descripción de la vivienda rural.....	24
3.1.1 Características físicas de la vivienda.....	24
3.1.2 Población y ocupación de la vivienda.....	26
3.1.3 Infraestructura y servicios disponibles.....	26
3.2 Determinación de la demanda energética.....	27
3.2.1 Factores que influyen en la demanda energética	27
3.3 Consumo de energía eléctrica en función de las necesidades	28
3.3.1 Consumo de electrodomésticos y necesidades básicas	28
3.3.2 Patrones de consumo energético diario	30
3.3.3 Análisis de picos de consumo	31
3.3.4 Análisis del consumo diario según zonas en la explotación.....	32
Capítulo 4. Autoconsumo fotovoltaico. Normativas y regulaciones	35
4.1 Tipos de sistemas de autoconsumo fotovoltaico	35

4.2	Normativas y regulaciones	37
Capítulo 5. Diseño de la instalación fotovoltaica.....		39
5.1	Evaluación de los recursos solares	39
5.2	Dimensionamiento y selección de los componentes del sistema	42
5.2.1	Módulos fotovoltaicos	43
5.2.2	Regulador de carga.....	46
5.2.3	Baterías	47
5.2.4	Grupos electrógenos.....	49
5.2.5	Inversor	51
5.2.6	Cableado	53
5.2.7	Protecciones	54
5.3	Resumen de los componentes seleccionados para las tres instalaciones	56
Capítulo 6. Análisis económico.....		57
6.1	Costos de los componentes y equipos del sistema FV aislado	57
6.2	Análisis de viabilidad económica.....	59
6.2.1	Ahorro por autoconsumo.....	59
6.2.2	Análisis comparativo.....	59
Capítulo 7. Conclusiones.....		64
Capítulo 8. Bibliografía.....		66

Índice de Figuras

Figura 1: Configuración de Generación en España para el año 2023[1].....	8
Figura 2: Evolución de la potencia instalada de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en MW en España.....	10
Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	12
Figura 4: Funcionamiento de una celda solar [1]	14
Figura 5: Comparación entre Irradiancia e Irradiación en Energía solar[5].....	16
Figura 6: Capas de una placa solar [7]	18
Figura 7: Localización de la vivienda.....	24
Figura 8: Vista aérea de la vivienda a través de Google Earth.....	25
Figura 9: Viviendas de la explotación	26
Figura 10: Estructura del consumo por usos en el sector residencial. Fuente: IDAE	28
Figura 11: Curva de la demanda según el sector en España. Fuente: REE	30
Figura 12: Consumo mensual en kWh de la explotación	32
Figura 13: División de consumos por instalaciones de la explotación.....	33
Figura 14: Perfiles diarios de consumo de las 3 instalaciones de la explotación	34
Figura 15: Tipos de sistemas de autoconsumo fotovoltaico. Fuente: Selectra.es.....	35
Figura 16: Autoconsumo aislado.....	36
Figura 17: Autoconsumo conectado a red	37
Figura 18: Temperaturas mínima y máxima promedio en Aliseda [16].....	39
Figura 19: Categorías de nubosidad en Aliseda [16].....	40
Figura 20: Probabilidad diaria de precipitación en Aliseda [16].....	41
Figura 21: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en Aliseda [16]	41
Figura 22: Módulo FV de JA Solar de 550 W.....	46
Figura 23: Reguladores de carga MPPT para las instalaciones.....	47
Figura 24: Batería Dyssen B4850.....	49
Figura 25: Grupo electrógeno ITC Power-DG11KSEm	50
Figura 26: Grupo electrógeno ITC Power-6100XE	51
Figura 27: Inversor cargador Multiplus II-VICTRON	53

Figura 28: Cable CC, PV H1Z2Z2-K 1,5/1,5 (1,8) kV [20].....	54
Figura 29: Cable CA, Afumex Class 1000 V (AS) [21].....	54
Figura 30: FC acumulado en un periodo de 25 años	61
Figura 31: VAN del proyecto según tasas de descuento	63

Índice de tablas

Tabla 1: Coordenadas de la vivienda rural	25
Tabla 2: Superficies de las infraestructuras de la explotación.....	25
Tabla 3: Consumo medio anual en kWh en España en viviendas en la zona continental. Fuente: IDAE.....	29
Tabla 4: Consumo medio iluminación mensual de las infraestructuras de la explotación..	29
Tabla 5: Consumo diario en kWh por instalación y mes.....	33
Tabla 6: Temperaturas mínima y máxima promedio por mes en Aliseda [16]	40
Tabla 7: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en Aliseda [16]	42
Tabla 8: Pico consumo diario del mes de febrero 2023 por instalación.....	43
Tabla 9: Capacidad neta de las baterías.....	43
Tabla 10: Cálculo de la potencia pico necesaria por instalación.....	44
Tabla 11: Características de placas solares.....	44
Tabla 12: Número de paneles por instalación	44
Tabla 13: Número máximo de módulos en serie según regulador de carga.....	45
Tabla 14: Disposición de los módulos fotovoltaicos.....	45
Tabla 15: Corriente máxima según configuración de módulos FV para las viviendas	46
Tabla 16: Corriente máxima según configuración de módulos FV para las naves	46
Tabla 17: Reguladores de carga escogidos.....	47
Tabla 18: Capacidad baterías.....	48
Tabla 19: Modelo de baterías	48
Tabla 20: Número de baterías por instalación	48
Tabla 21: Comprobación por el dimensionamiento de los grupos electrógenos	49
Tabla 22: Características Grupo electrógeno ITC Power-DG11KSEm	50
Tabla 23: Características Grupo electrógeno ITC Power-6100XE	50
Tabla 24: Máximos consumos diarios	51
Tabla 25: Potencia de los inversores escogidos para cada instalación	52
Tabla 26: Características del inversor cargador Multiplus II	52
Tabla 27: Costes de los componentes del sistema FV de cada instalación (CAPEX).....	58

Tabla 28: Reemplazo de equipos (CAPEX)	58
Tabla 29: Costos debido al mantenimiento y el combustible de los grupos electrógenos (OPEX)	58
Tabla 30: Facturas eléctricas de la explotación en de octubre 2022 a agosto 2023	59
Tabla 31: Resultado económicos anuales	60
Tabla 32: Tasa de descuentos y VAN	62
Tabla 33: VAN, TIR, y PAYBACK del proyecto en un periodo de 25 años.....	63

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El panorama energético está experimentando cambios significativos. El uso de los combustibles fósiles como principal fuente de energía es cuestionado y se buscan alternativas en todo el mundo para minimizar su utilización. La escasez de recursos para la generación de energía es uno de los principales problemas, y obliga a muchos países a depender de naciones que poseen dichos recursos. Además, los combustibles fósiles generan gases de efecto invernadero que contribuyen a la degradación del medio ambiente. Por consiguiente, se busca adoptar fuentes de energía alternativas que reduzcan tanto la dependencia energética como los impactos ambientales. Entre estas energías alternativas están las energías renovables. Entre ellas, las más destacadas son la eólica, la solar y la hidroeléctrica. Otras fuentes renovables despiertan hoy gran interés como el hidrógeno verde, entre otras.

Desde el comienzo de la guerra de Ucrania en febrero de 2022, Europa vive una crisis energética importante. La situación geopolítica es complicada y está afectando severamente a los países miembros de la Unión Europea (UE) en cuanto al suministro de energía, ya que Rusia es de los mayores exportadores de petróleo y gas natural a nivel mundial. Para afrontar la falta de suministro y reducir al máximo las exportaciones de gas, petróleo y carbón con Rusia, la Unión Europea plantea soluciones ante esta crisis energética en la Declaración de Versalles de 2022. Como parte de las estrategias para abordar la dependencia energética en Europa, se sugiere la facilitación de la autorización y regulación de proyectos de energías renovables para los países miembros de la Unión Europea, además de promover y estimular su producción.

España es un país que sigue teniendo hoy en día una fuerte dependencia energética. Más del 70% de la energía en España es importada. En los últimos dos años los españoles han conocido unos precios muy elevados en sus facturas de luz y gas afectadas sobre todo por la situación geopolítica en Europa. España tiene como objetivo reducir su dependencia energética y los precios de la energía. Para ello busca potenciar la explotación de energías autóctonas para llegar a la independencia energética mediante energías limpias y respetuosas con el medio ambiente. La solución que se presenta es el desarrollo de las energías renovables a gran escala de tal manera que se consiga depender lo menos posibles de otros países, llegando en un futuro a no solo autoabastecerse sino también a llegar a exportar energía. Actualmente las energías renovables que más energía generan son la eólica seguida de la solar fotovoltaica, así como la hidráulica, aunque en menor medida. Como se puede observar en la Figura 1, durante el primer semestre de 2023, la generación eólica encabeza

la producción de energías renovables en España, seguida por la solar fotovoltaica. No obstante, en el mes de junio de 2023, la generación de energía solar fotovoltaica ha superado a la eólica en España. Este aumento coincide con la elevada exposición solar característica de junio en el país.

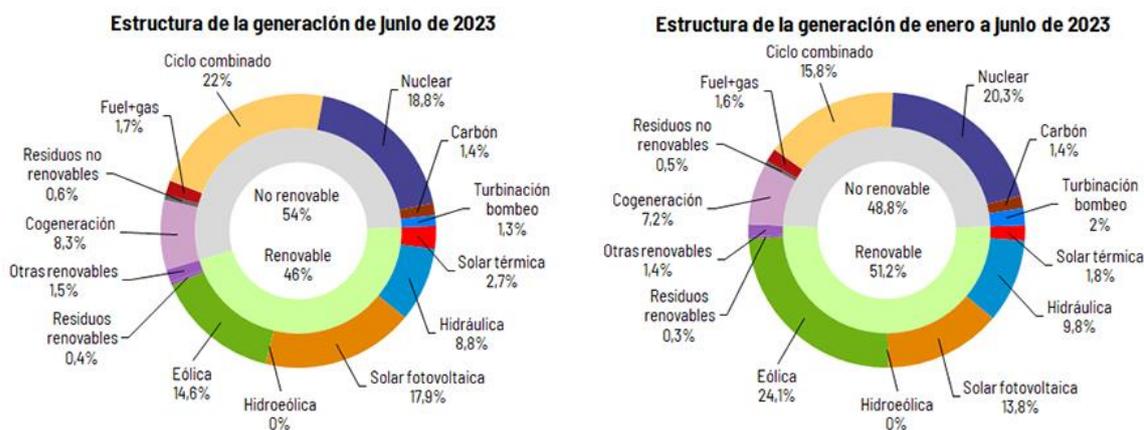


Figura 1: Configuración de Generación en España para el año 2023[1]

No obstante, hay que destacar que la sociedad debe tomar conciencia de la situación energética actual y unirse a la senda de la transición ecológica. Para ello se incita a utilizar energías limpias que inciten al autoconsumo aliviando así las facturas eléctricas de los consumidores individuales y contribuyendo a la preservación de nuestro planeta.

Este proyecto implica la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica independiente en una casa rural, con el objetivo de promover el autoconsumo en áreas donde el acceso a la red eléctrica es más complicado.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Para luchar contra la descarbonización y la independencia energética, España tiene como plan de acción el desarrollo de energías limpias y autóctonas. En este proyecto se trabaja en la instalación de paneles solares en una vivienda rural, una solución de autoconsumo para estos dos grandes retos. El autoconsumo fotovoltaico permite reducir la dependencia energética utilizando como fuente de generación la luz solar, es decir sin depender de recursos fósiles convencionales. Así las variaciones en los mercados energéticos tendrán menor impacto para el consumidor. El cambio energético que asumirá la vivienda reducirá las emisiones de CO₂, contribuyendo así al cuidado de nuestro planeta.

Además, se espera que el consumidor obtenga un ahorro económico a largo plazo al reducir la dependencia de la red eléctrica, al tratarse de una instalación solar aislada. La energía solar es gratuita, por lo que se reduce la factura de la luz. Sin embargo, aunque la energía solar se caracteriza por su gratuidad intrínseca, es fundamental evaluar la viabilidad de la instalación para determinar si resulta en una inversión rentable. Es necesario contemplar los costos iniciales, el rendimiento esperado y los posibles ahorros a lo largo del tiempo. La amortización de la inversión juega un papel esencial, ya que podría requerir varios años para recuperar el costo inicial mediante los ahorros en la factura eléctrica. Por lo tanto, en este proyecto se llevará a cabo una evaluación acerca de los gastos y beneficios relacionados con la implementación de una instalación solar aislada, con el propósito de tomar una decisión bien fundamentada.

Este proyecto permite utilizar las nuevas tecnologías para el desarrollo de las energías renovables. El mundo vive una crisis energética donde el avance de las nuevas tecnologías es la clave para superarla, y entre ellas las tecnologías verdes permiten superarla respetando el medio ambiente.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Una instalación fotovoltaica de autoconsumo es una solución que se adopta cada vez más en España. En el año 2022, la potencia instalada de autoconsumo asciende a más de 5200 MW. De este total, se ha instalado 2649 MW de autoconsumo en el año 2022, de los cuales aproximadamente 1024 MW pertenecen al sector residencial, mientras que el sector industrial ha contribuido con alrededor de 1625 MW, según se puede apreciar en la figura 2. A partir del año 2018, ha sido notable un aumento anual de más del 90% en la potencia instalada de sistemas de autoconsumo.

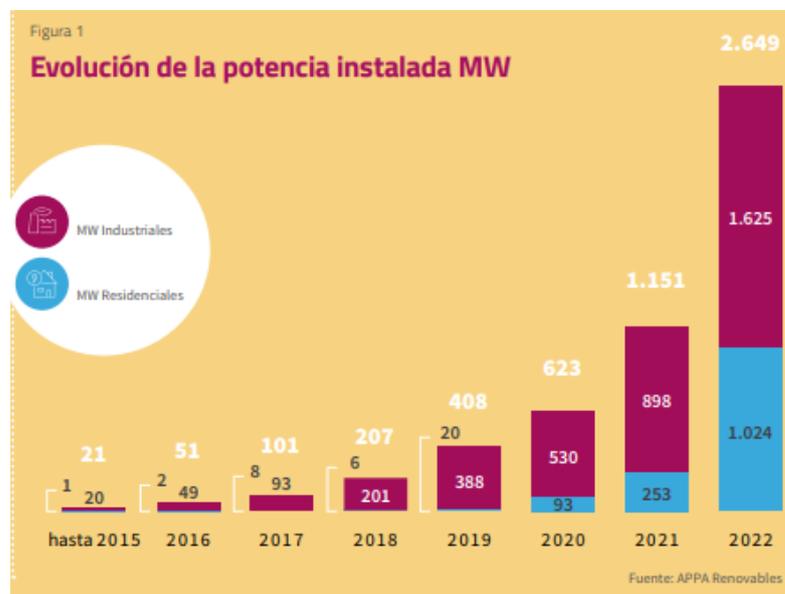


Figura 2: Evolución de la potencia instalada de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en MW en España

El uso de la energía solar para el consumo eléctrico para particulares permite avanzar en la carrera de la transición energética y permitiendo a los consumidores conocer un ahorro en sus facturas eléctricas. Los objetivos de este proyecto se presentan a continuación.

- **Suministro de energía sostenible:** Proporcionar una fuente confiable y sostenible de electricidad para las necesidades residenciales rurales es uno de los principales objetivos. Al realizar un sistema fotovoltaico aislado, se puede producir electricidad a partir de la radiación solar, lo que reduce la dependencia de las fuentes de energía convencionales. Permite un suministro de energía estable y reduce la huella ambiental mediante el uso de fuentes renovables y limpias como la energía solar.
- **Punto económico y viabilidad de la instalación:** Se realizará un estudio económico con los costes iniciales y evaluando el ahorro económico que supondría a largo plazo, así como la amortización de la instalación. Para ello hay que evaluar la viabilidad de la instalación. Se analizará la ubicación geográfica, así como la capacidad que tiene la vivienda para ver cuántos paneles puede albergar. Por otro lado, se estudiará los patrones de consumo eléctrico que tienen los consumidores de la vivienda, así como el análisis del costo de mantenimiento de la instalación. Entre los componentes de la instalación se realizará un estudio de los paneles solares, las baterías, los inversores y los reguladores de carga necesarios, estudiando las diversas opciones de tecnologías solares.
- **Promover la autonomía energética:** Mediante un sistema aislado se busca generar y consumir electricidad propia, permitiendo una autonomía y seguridad en el

suministro energético. Al tratarse de una instalación fotovoltaica aislada, esta no depende de la red eléctrica. Este proyecto busca por tanto fomentar la independencia energética en viviendas rurales donde el acceso a la red es difícil.

1.3 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible constituyen una lista de 17 objetivos que se estableció en el año 2015 por líderes de todo el mundo. Estos objetivos proporcionan una guía para impulsar la prosperidad tanto a nivel social como planetario.

Este proyecto se relaciona con los siguientes ODS:

- ODS-7: “Energía asequible y no contaminante”. La instalación fotovoltaica aislado utiliza la energía solar, que es una fuente de energía limpia que no es contaminante. Es una fuente de energía gratuita y que se puede utilizar para el autoconsumo de viviendas, siendo así una fuente de energía asequible.
- ODS-9: “Industria, Innovación e Infraestructura”. Las placas solares y los distintos sistemas fotovoltaicos ya sean de gran consumo o autoconsumo, es una tecnología verde. La lucha contra el cambio climático inevitable y el avance en las tecnologías sostenibles no para de crecer.
- ODS-11: “Ciudades y comunidades sostenibles”. El sistema fotovoltaico aislado permite que las energías limpias sean también accesibles en las zonas rurales donde el acceso a la red eléctrica es difícil. Así no solo las ciudades sino también las comunidades rurales participan en el cambio climático con consumo de energías limpias.
- ODS-12: “Producción y consumo responsables”. La energía solar es una fuente renovable. La instalación del proyecto pretende sustituir el consumo de fuentes fósiles para la electricidad por fuentes limpias y autóctonas de la zona.

- ODS-13: “Acción por el clima”. El uso de energía solar sigue el camino de la transición energética reduciendo la huella de carbono que produce la vivienda.



Producido en colaboración con TROLLBACK + COMPANY | TheGlobalGoals@trollback.com | +1212.626.1010
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor contacte con: dpicampaign@un.com

Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible

Capítulo 2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar es actualmente considerada como una fuente de energía renovable debido a su carácter inagotable y por ser una fuente limpia que respeta el medio ambiente. Es considerada una pieza fundamental en la transición energética ya que es una de las fuentes renovables que más ha avanzado en términos tecnológicos. Además, la energía solar destaca por ser una de las opciones más económicas dentro de las energías renovables, fomentando tanto el autoconsumo como la generación a gran escala. Su versatilidad y accesibilidad la convierten en una opción atractiva para diversos sectores y aplicaciones, como la alimentación de cargas eléctricas de tipo residencial, comercial e industrial. Esta fuente de energía capta la atención de un número creciente de inversores, que ven en ella un gran potencial para generar resultados económicos favorables a la vez que contribuye a la lucha contra el cambio climático. Esta combinación de beneficios económicos y ambientales ha llevado a un aumento significativo en la inversión en proyectos solares a lo largo de los últimos años.

Dentro de las fuentes de energía solar, existen dos principales enfoques: los sistemas fototérmicos, que se utilizan para obtener energía térmica, y los sistemas fotovoltaicos, enfocados en la generación de energía eléctrica. En este caso, nos centraremos en los sistemas fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica proviene concretamente de la radiación solar, la cual es transformada en energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas se componen de células fotovoltaicas que capturan la luz del sol y generan corriente eléctrica a partir del efecto fotovoltaico. Un panel solar o módulo fotovoltaico está compuesto de células fotovoltaicas. Las células fotovoltaicas están fabricadas con materiales semiconductores que forman dos capas una de tipo P, siendo esta de carga positiva y una de tipo N siendo de carga negativa, permitiendo así la formación de un campo eléctrico. Los elementos semiconductores reaccionan ante los fotones de la luz solar, generando una

corriente eléctrica que puede ser utilizada directamente para alimentar aparatos eléctricos o almacenada en baterías para su uso posterior. [1]

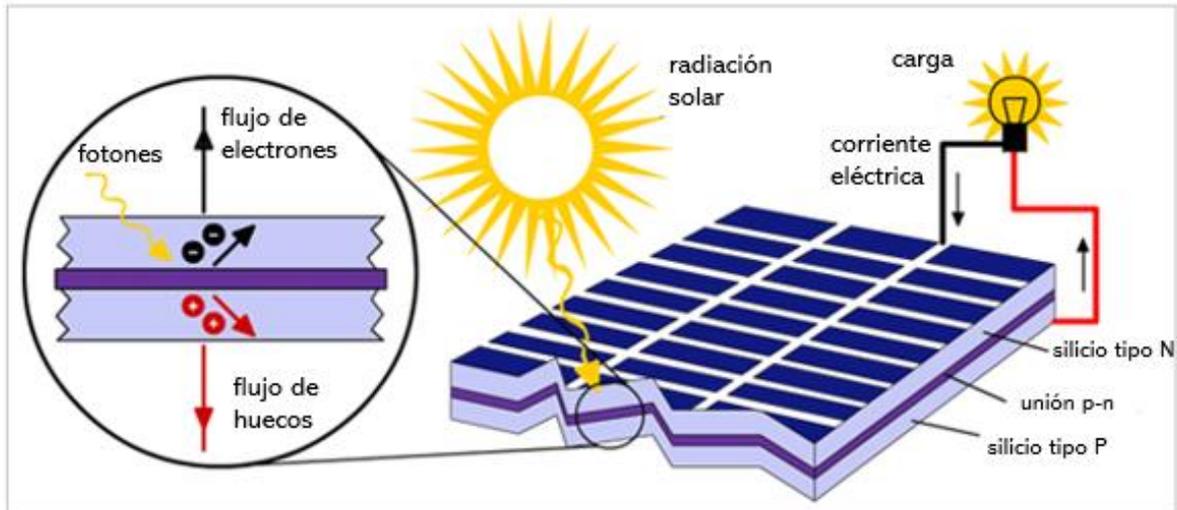


Figura 4: Funcionamiento de una celda solar [1]

2.1.2 MATERIALES UTILIZADOS EN CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Los paneles solares se componen de la unión de células fotovoltaicas, fabricadas principalmente a base de silicio cristalino, el cual se obtiene a través de un proceso de purificación de la arena. Este proceso de purificación es crucial, ya que se necesita alcanzar más de un 99% de pureza en el silicio. El silicio se moldea obteniendo obleas que serán los que compongan las células fotovoltaicas. El silicio cristalino es un material semiconductor que necesita un espesor mínimo de aproximadamente 100 micras para absorber la energía lumínica del sol. Al ser un material tan frágil, se fabrican capas de mayor espesor entre las 300 y 400 micras.

En los últimos años, se ha notado una creciente escasez de silicio debido al aumento en el desarrollo de energías renovables, especialmente la energía solar fotovoltaica. La demanda de paneles solares ha experimentado un significativo aumento debido a que muchos países están apostando cada vez más por esta fuente de energía sostenible. Además, tras la COVID-19 ha habido a nivel mundial problemas de desabastecimiento de materias primas. Estos acontecimientos, combinados, han llevado a una escasez de silicio en el mercado, lo que se traduce en un incremento en los precios de los paneles solares. [3]

Existen diversos procesos del silicio que determinarán el coste y el rendimiento de las placas solares. Entre los materiales más utilizados se encuentran el silicio policristalino y silicio monocristalino. Si bien el silicio policristalino tiene un menor coste de producción en comparación con el monocristalino, su rendimiento es inferior. Además de estas dos variedades, existen otras menos utilizadas, como el Silicio amorfo, Teluro de Cadmio (CdTe) y CIGS (Cobre, Indio, Galio Selenio/Azufre), utilizadas principalmente para “células de capa delgada” [4] caracterizándose por ser más económicas pero con menor rendimiento.

2.1.3 FACTORES QUE IMPACTAN EN LA EFICIENCIA DE LOS PANELES SOLARES

Es importante destacar que existe una distinción entre la eficiencia y el rendimiento de los paneles solares. La eficiencia de un panel solar se refiere a la cantidad de energía lumínica que se convierte en electricidad, mientras que el rendimiento se refiere a la capacidad de la placa solar para transformar la energía solar en electricidad. Existen diversos factores que afectan a la eficiencia de las placas solares [7]:

- Material del panel: Como se ha visto en el apartado anterior los materiales que componen el panel solar y sobre todo las células fotovoltaicas, juegan un papel crucial en su eficiencia. Se utiliza actualmente silicio cristalino en distintas formas. Según el tipo de silicio la eficiencia varía con ella siendo el silicio monocristalino el que proporciona mejor eficiencia a la placa solar.
- Espesor del material: Los materiales utilizados en las células fotovoltaicas necesitan un grosor mínimo para absorber los fotones de luz para conseguir generar corriente eléctrica. Sin embargo, hay que encontrar un equilibrio de espesor ya que a medida que aumenta el espesor, aumentan las pérdidas de eficiencia.
- Temperatura: La temperatura es un factor importante tener en cuenta en las instalaciones fotovoltaicas ya que los paneles solares están expuestos a las condiciones meteorológicas de la zona donde se instalen. La temperatura idónea para conseguir una mayor eficiencia de las placas fotovoltaicas es de 25°C. Es preferible que la temperatura sea menor a 25°C, ya que temperaturas más altas pueden afectar negativamente la eficiencia de los paneles. En días despejados, se consigue una mayor incidencia de los rayos solares. Sin embargo, en días nublados o lluviosos la recepción de rayos solares es peor, pero las instalaciones siguen funcionando correctamente.
- Inclinación: La inclinación es un factor determinante que afecta a la forma en que los rayos solares inciden en los paneles. Una correcta inclinación es clave para obtener una incidencia lo más perpendicular posible para un mayor aprovechamiento de la energía lumínica del sol. Según en qué zona del planeta se sitúa la instalación los

paneles deberán colocarse en una inclinación u otra. En España, al situarse en el hemisferio norte, lo mejor es situar las placas en dirección sur con una inclinación promedio de 30°.

- **Irradiación:** Hay una diferencia entre irradiancia e irradiación. La irradiancia se corresponde con la potencia que se obtiene de la radiación solar por unidad de área (W/m^2). Representa la intensidad de la radiación solar incidente en una superficie determinada. Por otro lado, la irradiación es la energía que se produce de la radiación solar por unidad de área (Wh/m^2). Es una medida acumulada de la energía solar recibida durante un período específico. La irradiación nos permite cuantificar cuanta cantidad de energía lumínica del sol reciben las placas y ver cuanta energía eléctrica se produce con ella. Es un factor clave para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en diferentes ubicaciones y condiciones climáticas.

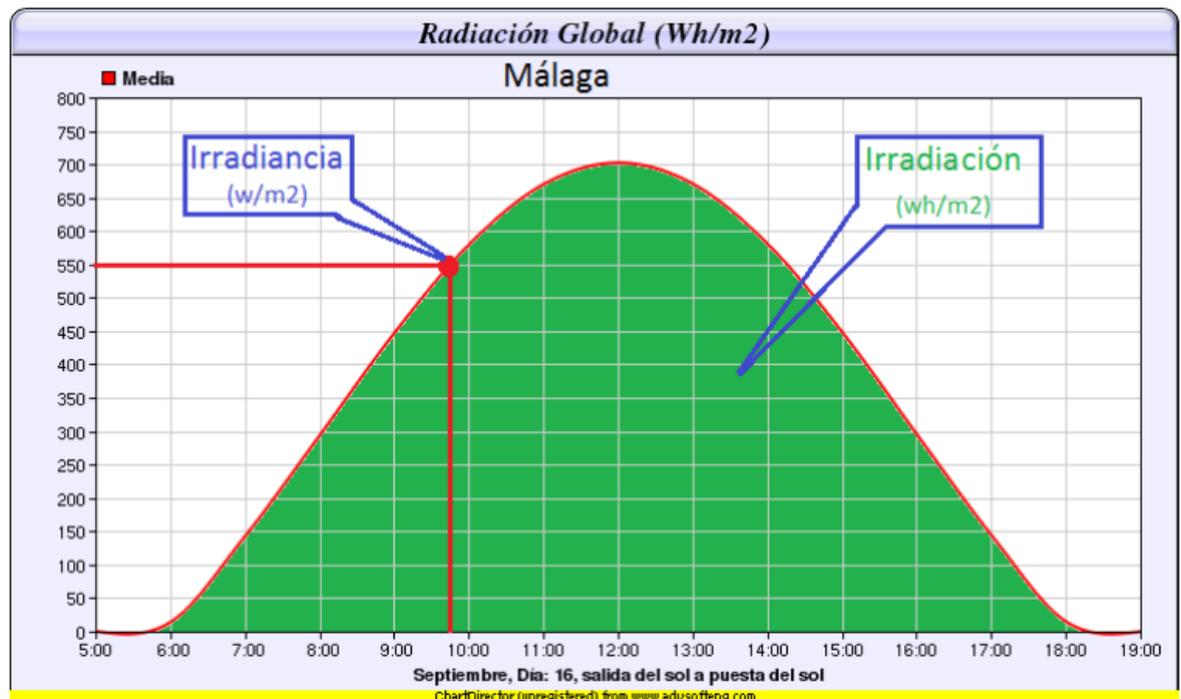


Figura 5: Comparación entre Irradiancia e Irradiación en Energía solar[6]

- **Sombreado:** La presencia de sombras puede impedir que los paneles absorban adecuadamente los rayos solares, lo que afecta negativamente la producción de energía. Es esencial asegurarse de que los paneles solares estén ubicados en áreas libres de obstáculos, como vegetación o edificaciones, que puedan proyectar sombras sobre ellos en algún momento del día.
- **Degradación y mantenimiento:** Los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil de aproximadamente 30 años. A lo largo del tiempo, pueden experimentar degradación debido a diversas razones, como condiciones climáticas adversas, uso continuo o

factores externos. La degradación de las instalaciones fotovoltaicas debe estar controladas para asegurar que no se deterioren antes de amortizar la inversión realizada en su instalación. Para ello, es indispensable llevar a cabo un mantenimiento adecuado de la instalación fotovoltaica. La calidad de los materiales de la instalación, así como de su mantenimiento garantizará que los paneles funcionen óptimamente a lo largo de su vida útil, maximizando la producción de energía y prolongando la rentabilidad de la inversión realizada en la instalación fotovoltaica.

- Electrónica y cableado: Los componentes electrónicos y el cableado en una instalación fotovoltaica también desempeñan un papel crucial en el rendimiento y eficiencia del sistema solar. Al igual que los paneles solares, estos elementos deben ser de alta calidad y estar sometidos a un mantenimiento adecuado para garantizar un funcionamiento óptimo.

2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.2.1 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Un panel solar fotovoltaico o módulo fotovoltaico está compuesto de distintas capas, como se puede observar en la figura 3. La capa central está formada por células solares fotovoltaicas, que están dispuestas en serie. Cada fila de células se coloca en paralelo, creando así una matriz de células. Esta disposición de las células permite aumentar los rangos de valores de corriente y tensión producidos por el panel solar.

La matriz se ve envuelta por unos encapsulantes que se encargan de proteger a las células de golpes, vibraciones, humedad y suciedad. Los encapsulantes más utilizados son los Etil-Vinilo-Acetileno, denominados EVA.

El recubrimiento posterior se encarga de la protección y sujeción del módulo. Suelen ser elementos resistentes a la humedad y otros factores atmosféricos. El material que se suele utilizar es el Tedlar, un material acrílico conocido por sus excelentes propiedades de resistencia a la humedad. Este recubrimiento suele ser de color blanco, ya que contribuye a que los rayos solares no absorbidos sean reflejados nuevamente hacia las células fotovoltaicas desde la parte posterior del módulo. Esto maximiza la eficiencia de conversión de la luz solar en electricidad, ya que permite que más fotones sean capturados y aprovechados por las células solares.

En la parte frontal, se coloca una cubierta de vidrio templado con características de protección contra impactos y elementos atmosféricos. Esta cubierta no solo permite una

mayor absorción de los rayos solares, sino que también salvaguarda la matriz de células fotovoltaicas, garantizando su integridad y eficiencia ante posibles daños externos.

El montaje de estas capas en el módulo fotovoltaico es sometido a un meticuloso proceso de laminación para lograr una completa compactación, evitando la presencia de huecos entre ellas. Este cuidado es crucial para prevenir que el aire, la suciedad y otros elementos puedan infiltrarse y dañar el panel solar con el tiempo. La laminación garantiza una estructura robusta y duradera, protegiendo eficazmente las delicadas células solares fotovoltaicas en el interior.

Una vez completada la laminación, se agrega un resistente marco metálico que cumple dos funciones esenciales. En primer lugar, agrupa y sujeta todas las capas del módulo, proporcionando estabilidad y seguridad estructural al conjunto. Los marcos metálicos suelen estar fabricados con materiales como acero inoxidable o aluminio anodizado, que son capaces de resistir la corrosión y mantener su integridad a lo largo del tiempo, lo que es esencial para asegurar la durabilidad del panel solar [5].

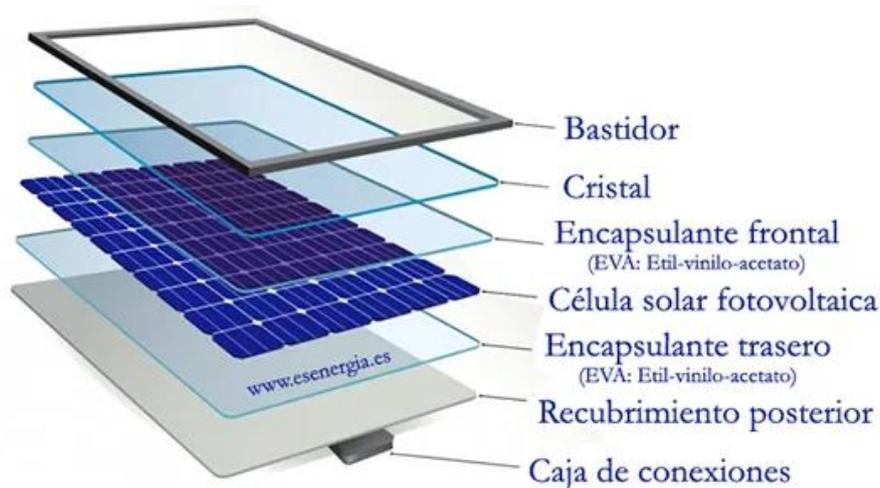


Figura 6: Capas de una placa solar [8]

2.2.2 REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga es un elemento esencial en la instalación fotovoltaica. Se encuentra entre los paneles solares y la batería o acumulador de la instalación. Su objetivo es el control del flujo de carga, controlando los parámetros de corriente (I) y voltaje (V).

La misión principal del regulador de carga es prevenir sobrecargas y sobretensiones en el sistema, lo cual resulta crucial para prolongar la vida útil del acumulador. Gracias a su labor, se asegura que la batería se cargue adecuadamente y que no se someta a condiciones eléctricas dañinas que podrían acortar su durabilidad.

Existen dos tipos de reguladores de carga:

- Regulador de carga PWM (Pulse Width Modulation): regula el flujo de corriente desde los paneles solares a la batería mediante la modulación del ancho de los pulsos de la señal de carga. Los reguladores PWM funcionan eficazmente únicamente cuando los paneles solares tienen la misma tensión nominal que la batería. Sin embargo, esta característica conlleva un inconveniente significativo, ya que en situaciones donde el panel solar genera una cantidad mayor de energía debido a una carga óptima, parte de esa energía se desaprovecha. A esto se le conoce como pérdida por desigualdad de tensión. Por otro lado, los reguladores PWM presentan la ventaja de ser más económicos en comparación con otros tipos de reguladores más avanzados y sofisticados, como los reguladores MPPT.
- Regulador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking): también conocido como "maximizador", tiene la capacidad de aprovechar al máximo la carga generada por los paneles solares en cada momento, optimizando su rendimiento. A diferencia de los reguladores PWM, el MPPT puede aumentar el voltaje de los paneles solares para obtener la máxima potencia disponible y, de esta manera, cargar eficientemente la batería. Aunque el regulador MPPT es más costoso que los reguladores PWM, su eficiencia y rendimiento superiores hacen que compense el gasto adicional.

2.2.3 BATERÍAS

El principal desafío que enfrentan las placas solares es su incapacidad para almacenar energía cuando la radiación solar es escasa o las condiciones meteorológicas no lo permiten. Sin embargo, para superar esta limitación, se instalan baterías o acumuladores con el propósito de recolectar el excedente de energía no utilizada durante la absorción de los rayos solares. De esta manera, se puede aprovechar posteriormente esa energía almacenada, especialmente durante periodos nocturnos u otras situaciones en las que la generación solar es insuficiente.

Al seleccionar las baterías para una instalación fotovoltaica, es fundamental considerar diversos aspectos. En primer lugar, se debe determinar el propósito específico de la instalación, como si será utilizada para autoconsumo, si estará conectada a la red o si operará de forma aislada. Esta asignación de uso es crucial para definir las características adecuadas de las baterías que se utilizarán.

Además, es imprescindible realizar un dimensionamiento preciso de la instalación y tener en cuenta los siguientes parámetros: la tensión nominal y los límites de tensión, la corriente requerida, la duración de la potencia de descarga y la temperatura promedio del lugar donde se llevará a cabo la instalación.

Existen distintos tipos de baterías para instalaciones fotovoltaicas:

- **Baterías Monoblock:** su uso es habitual en instalaciones pequeñas donde el consumo de energía es bajo. Estas baterías se componen de un solo elemento y están construidas principalmente con tecnología de plomo ácido, lo que les proporciona una capacidad razonable para almacenar energía. Debido a su diseño y composición, estas baterías pueden producir gases durante su funcionamiento normal, lo que implica que deben ser instaladas y utilizadas en áreas bien ventiladas, evitando espacios cerrados.
- **Baterías AGM:** pertenecen al grupo de baterías de electrolitos inmobilizados. Emplean un diseño en el que el ácido de plomo es absorbido y retenido entre las placas mediante el uso de esteras de fibra de vidrio. Es un tipo de batería que no necesita apenas mantenimiento y no desprende gases tóxicos. Este tipo de baterías es ampliamente utilizado en instalaciones pequeñas y aisladas, siendo especialmente popular en el sector fotovoltaico debido a su excelente equilibrio entre calidad, precio y rendimiento.
- **Baterías GEL:** son una opción recomendada para instalaciones de tamaño medio, ofreciendo ventajas significativas en comparación con las baterías Monoblock. Estas baterías tienen una estructura similar a las Monoblock, pero cuentan con una característica que las distingue: su electrolito se encuentra en forma de gel, lo que les otorga una mayor durabilidad y vida útil.
- **Baterías estacionarias:** especializada y adecuada para instalaciones fotovoltaicas con grandes demandas y exigencias energéticas. Estas baterías se han diseñado para ofrecer un rendimiento óptimo en entornos donde el almacenamiento de energía es crítico y se requiere un funcionamiento confiable y duradero. Se caracterizan por tener una larga vida útil en comparación con otras tecnologías de baterías.
- **Baterías de litio:** Las baterías de litio tienen numerosas ventajas: son compactas, no emiten gases contaminantes, se cargan rápidamente, su vida útil no se ve afectada por ciclos de carga y descarga, no requieren mantenimiento y son una interesante alternativa a las baterías de plomo ácido. Son ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones, desde instalaciones fotovoltaicas hasta dispositivos electrónicos y vehículos eléctricos.

2.2.4 INVERSOR

Los paneles de una instalación fotovoltaica generan corriente continua, mientras que para el consumo de energía eléctrica se requiere corriente alterna. Por esta razón, es esencial contar con un inversor capaz de convertir la corriente continua en corriente alterna. Existen varios tipos de inversores dependiendo del tipo de instalación solar fotovoltaica, y muchos de ellos se diferencian principalmente por el voltaje de entrada necesario.

Las características principales que se deben considerar al elegir un inversor son las siguientes:

- **Potencia:** La potencia del inversor se expresa en vatios (W) o voltamperios (VA), dependiendo de las cargas a las que estén conectados los paneles solares. Representa la máxima capacidad nominal que el inversor puede captar de las placas solares.
- **Potencia máxima:** Es el doble de la potencia nominal y corresponde a la máxima capacidad que el inversor puede entregar durante unos segundos en situaciones de picos de consumo de carga.
- **Temperatura de diseño:** Los inversores suelen estar diseñados para operar a una temperatura cercana a los 25°C. A medida que aumenta la temperatura, la disipación de calor puede afectar la potencia del inversor.
- **Tensión:** La tensión del inversor está determinada por la tensión de las baterías utilizadas en el sistema.

Entre los distintos tipos de inversores, los principales son:

- **Monofásicos:** Estos inversores son los más comunes y se utilizan ampliamente en instalaciones para residencias y comercios a gran escala. Su función principal es distribuir la energía generada por los paneles solares para alimentar dispositivos como iluminación y calefacción. Son especialmente útiles en instalaciones aisladas de la red eléctrica, donde no se tiene acceso a la electricidad proveniente de compañías eléctricas.
- **Microinversores:** Son inversores que se instalan de manera individual en cada panel solar de la instalación. Aunque su precio puede ser mayor en comparación con los inversores centralizados, están ganando popularidad en instalaciones residenciales debido a su mayor eficiencia y ventajas adicionales. Al contar con un microinversor para cada panel, es posible detectar y localizar problemas en cada uno de ellos de forma independiente. Esto proporciona una ventaja significativa, ya que, si un panel tiene un rendimiento bajo o presenta algún defecto, el resto de los paneles seguirá produciendo energía con buenos rendimientos.

- Optimizadores de potencia: Los optimizadores de potencia se instalan junto a los paneles solares y envían la energía generada por cada panel a un inversor centralizado. Aunque comparten características con los microinversores, la diferencia radica en su arquitectura: los microinversores hacen la conversión de corriente continua a corriente alterna directamente en cada panel, mientras que los optimizadores actúan como intermediarios y optimizan la potencia de cada panel antes de enviarla al inversor central, que se encarga de la conversión para todo el conjunto de paneles. Una ventaja significativa de los optimizadores de potencia es que son más económicos en comparación con los microinversores.

2.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras fuentes de energía, posee una serie de ventajas y desafíos asociados. En el siguiente apartado, se destacarán las principales características de esta prometedora fuente de energía renovable.

➤ Ventajas

- **Sostenible y limpia:** No contamina el medioambiente mediante gases de efecto invernadero.
- **Plena disponibilidad:** Proviene de la propia luz del sol, sin necesidad de extraer ningún material.
- **Independencia energética:** Reduce la dependencia de los combustibles fósiles, y por tanto también de mercados exteriores energéticos.
- **Modo energético más económico:** Ahorro en las facturas de luz y consumo energético.
- **Versatilidad en su aprovechamiento:** Puede utilizarse en zonas de difícil acceso a la red, fomentando el autoconsumo.
- **Utilización para calentar:** Además de generar electricidad, también puede emplearse para calentar agua y otros fines.
- **Ayudas económicas:** Las instalaciones fotovoltaicas reciben ayudas y subvenciones.

➤ Desventajas

- **Energía fluctuante:** La cantidad de radiación solar recibida varía a lo largo del día, y durante la noche no se produce energía.
- **Difícil almacenamiento de energía:** Es complicado almacenar la energía para su uso en periodos sin radiación solar, especialmente para plantas de generación fotovoltaica.

- Vulnerabilidad a condiciones atmosféricas: Las condiciones climáticas afectan la cantidad de energía lumínica que los paneles fotovoltaicos pueden absorber.
- Alto coste de inversión inicial: Requiere una inversión significativa al principio. No obstante, con su larga vida útil, bajo mantenimiento y ayudas económicas, suele ser amortizada con el tiempo.

Capítulo 3. ANÁLISIS DE LA VIVIENDA Y CONSUMO ENERGÉTICO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA RURAL

3.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA VIVIENDA

La vivienda rural se encuentra en Extremadura, a una hora en coche de la ciudad de Cáceres. Se accede a través de un camino vecinal. Las coordenadas de la ubicación se presentan en la tabla 1.



Figura 7: Localización de la vivienda

Longitud	-6,844°
Latitud	39,376°
Altura	400 m

Tabla 1: Coordenadas de la vivienda rural

La vivienda rural en cuestión es una explotación ganadera dedicada principalmente a la ganadería bovina y de cerdo ibérico. Esta construcción se compone de varias viviendas y varias naves. Hay dos viviendas que albergan a los trabajadores de la explotación. Y otra vivienda que se utiliza como segunda vivienda para la familia propietaria. Como se puede observar en la figura 8, las viviendas y las naves tienen forma rectangular con techos a dos aguas. La inclinación de los techos es de aproximadamente 25°. Las dimensiones de las infraestructuras se presentan en la tabla 2. Al ser construcciones rectangulares de una sola planta, los techos en su totalidad representan aproximadamente la misma superficie en m^2 .



Figura 8: Vista aérea de la vivienda a través de Google Earth

	Superficie (m^2)
Casa Principal	320
Casas trabajadores	216
Nave almacenaje	448
Nave parideras	288

Tabla 2: Superficies de las infraestructuras de la explotación

3.1.2 POBLACIÓN Y OCUPACIÓN DE LA VIVIENDA

Como se mencionó previamente, en el apartado anterior se describen las tres viviendas disponibles en la explotación. La vivienda principal es ocupada por la familia propietaria y, además, se utiliza como segunda residencia. Esta familia está compuesta por un total de 25 personas, incluyendo 5 matrimonios: los padres con sus 4 hijos, y estos últimos con sus respectivas cónyuges e hijos. Por otro lado, existen otras dos viviendas de menor tamaño que están destinadas a los trabajadores permanentes de la explotación, los cuales consisten en un matrimonio y otro trabajador encargado de tareas específicas.



Figura 9: Viviendas de la explotación

3.1.3 INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS DISPONIBLES

Aparte de las tres viviendas, en el mismo recinto se encuentran dos naves y una estructura de menor tamaño cuyos suelos están revestidos de cemento y sus muros no llegan hasta el techo. Estas instalaciones complementarias son esenciales para el funcionamiento de la explotación.

Una de las naves tiene una función principal: el almacenamiento de paja y pienso destinado a los animales de la ganadería. Además, aquí se guarda la maquinaria necesaria para las labores agrícolas, incluyendo tractores y vehículos de trabajo, necesarios para el adecuado manejo de la explotación.

La otra nave desempeña un papel fundamental al albergar las parideras de las cochinas y todo lo relacionado con el cuidado de las crías antes de liberarlas en otras parcelas para su alimentación y desarrollo posterior. Esta infraestructura contribuye al proceso de cría y cuidado de los animales, asegurando su bienestar y salud en las primeras etapas de vida.

3.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Los términos de potencia eléctrica y consumo energético son claves para comprender y analizar las facturas de luz y gas que tienen los hogares y las empresas. La potencia eléctrica expresada en kW representa la capacidad de transformar energía eléctrica en otros tipos de energía, como la luminosa o mecánica. Esta medida se utiliza para establecer la cantidad de energía que un dispositivo o sistema puede usar en un momento dado, como se muestra en la etiqueta de potencia en kW de los electrodomésticos y dispositivos en hogares, que indica sus necesidades energéticas. Por otro lado, el consumo energético, expresado en kWh, expresa la cantidad de energía que necesitan los dispositivos para funcionar en un periodo de tiempo dado.

La relación entre estos dos términos está estrechamente vinculada a la eficiencia energética. La eficiencia energética se centra en la reducción del consumo energético mediante diversos medios, como la adopción de nuevos hábitos de consumo consciente o la implementación de fuentes de energía limpias y eficientes. En este proyecto de autoconsumo fotovoltaico, se exploran estos conceptos para lograr un uso eficiente de la energía, generando electricidad a partir de paneles solares y reduciendo la potencia demandada y el consumo total.

3.2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DEMANDA ENERGÉTICA

Para determinar la demanda de energía en diferentes sectores, como el residencial, industrial o comercial, es esencial comprender cuales son los factores que influyen en ella. En este caso, nos centraremos en analizar los factores que afectan a la demanda energética en el sector residencial y en las actividades ganaderas de la explotación.

Iniciaremos con el análisis del sector residencial. En términos generales, los factores que influyen en el ámbito residencial engloban las actividades realizadas por los habitantes de cada vivienda, tomando en consideración el número de personas que la ocupan. Es necesario examinar los patrones de consumo individuales, así como la eficiencia energética de los electrodomésticos utilizados en cada hogar. En el caso específico de la explotación, esta consta de dos residencias de uso permanente y una vivienda destinada como segunda residencia, por lo que los hábitos de consumo serán distintos. Además, se debe tener en cuenta las diferencias en el tamaño de estas viviendas, ya que se traduce a su vez en distintos hábitos de consumo energético en cada caso. En la figura 10 se presenta el desglose del consumo energético medio según usos en el sector residencial en España.

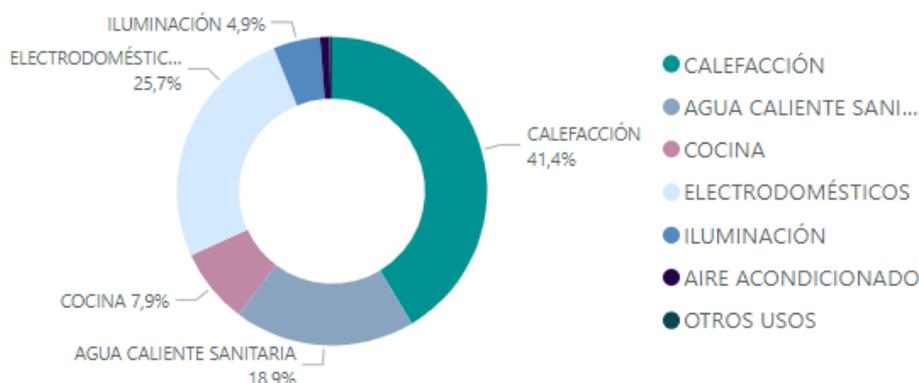


Figura 10: Estructura del consumo por usos en el sector residencial. Fuente: IDAE

Por otro lado, en lo que respecta a las actividades relacionadas con la explotación, existen otros factores que afectan, distintos de los que conciernen a las viviendas. En el caso de la nave destinada al almacenamiento de alimentos para la ganadería y maquinaria, solamente se requiere un sistema eléctrico de iluminación. En cuanto a la nave destinada a las parideras, cuenta con un sistema de iluminación y con los chupetes de las parideras que suministran agua a las cerdas y sus crías.

3.3 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES

3.3.1 CONSUMO DE ELECTRODOMÉSTICOS Y NECESIDADES BÁSICAS

En este apartado se evalúa el consumo energético medio de las infraestructuras de la explotación. En la tabla 2 se presenta el consumo medio anual por electrodomésticos de una vivienda en España situada en zona continental, según datos del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Con esta información, así como los datos de ocupación y población de cada vivienda se estima el consumo medio en kWh que se necesita al día. El consumo medio anual en electrodomésticos es de 2511 kWh, lo que se traduce en 6,88 kWh diarios.

Electrodomésticos	Consumo medio anual (kWh)
Frigorífico	688
Congelador	427
Horno	258
Lavadora	240
Lavavajillas	253
Televisión	319
Standby	231
Resto de electrodomésticos	95
Total	2511

Tabla 3: Consumo medio anual en kWh en España en viviendas en la zona continental. Fuente: IDAE

Por otro lado, en la tabla 4 se ha estimado el consumo de iluminación mensual de cada edificación de la explotación según su superficie y la cantidad de bombillas LED en cada una de ellas. Las bombillas LED de la explotación tienen una potencia de 5.5 W cada una. Se utilizan el mismo tipo de bombillas para las viviendas y las naves. Para las viviendas se ha estimado que la iluminación artificial al día media es de 6 horas. Los resultados de la tabla 4 se han obtenido mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Consumo diario total iluminación} = n^{\circ} \text{bombillas} \times \text{potencia bombilla} \times \text{horas}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo medio mensual iluminación} \\ = \text{Consumo diario total iluminación} \times 30 \text{ días} \end{aligned}$$

	N.º bombillas	Consumo iluminación mensual (kWh)
Vivienda principal	20	19,8
Viviendas trabajadores	15	14,85
Nave almacenaje	30	26,4
Nave parideras	16	19,8
Total	81	80,85

Tabla 4: Consumo medio iluminación mensual de las infraestructuras de la explotación

El consumo de iluminación medio mensual es de 80,85 kWh, lo que se traduce en 2,69 kWh diarios. En cuanto a la calefacción, según la IDAE, en las viviendas unifamiliares españolas de la zona continental se registra un consumo anual de 15,17 kWh [10], lo que se traduce en aproximadamente 1,26 kWh diarios. Por último, en la explotación, se dispone de una bomba de agua que abastece tanto a las viviendas como al ganado y a las naves. Esta bomba es trifásica, tiene una potencia de 2CV (1491,4 W) y tensión nominal de 400 V.

De acuerdo con los registros de las facturas de electricidad del último año, la explotación agrícola consume un promedio de aproximadamente 74,26 kWh por día. Por lo tanto, el consumo restante de la explotación se atribuye al funcionamiento de la bomba de agua. Es importante destacar que esta cantidad es un promedio anual y varía según la temporada del año y las necesidades del ganado.

3.3.2 PATRONES DE CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO

Los patrones de consumo energético diario son distintos para las naves y las viviendas. Las naves se utilizan todos los días del año conociendo picos de consumo que se analizarán en el siguiente apartado. Por otro lado, las viviendas tienen además patrones distintos entre ellas.

Comenzando con las residencias de los empleados, estas son viviendas unifamiliares donde la mayoría del tiempo sus habitantes se dedican a las actividades de la explotación, fuera del hogar. Como resultado, los picos de consumo se producen por las mañanas y al finalizar la jornada laboral, así como durante las noches a la hora de la cena. Esto se refleja en el perfil de demanda de energía de una vivienda en España, como se ilustra en la figura 11.

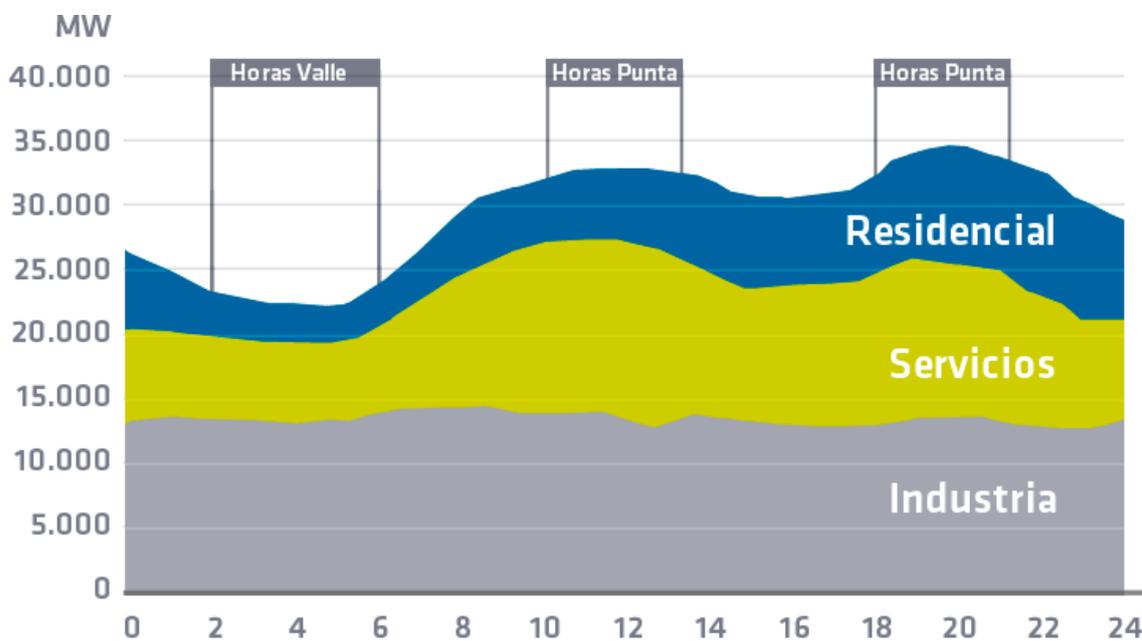


Figura 11: Curva de la demanda según el sector en España. Fuente: REE

En cuanto a la vivienda principal, al ser una segunda vivienda, el consumo se da en ciertas épocas del año con muchos familiares por lo que la vivienda suele estar en funcionamiento prácticamente ininterrumpido desde por la mañana hasta por las noches. No

obstante, es importante señalar que existen momentos del día en los que se producen aumentos significativos en el consumo de energía. Los periodos del día en los que más se consume es durante los momentos después del almuerzo con un pico hacia las 16:00 de la tarde y por la noche, específicamente en la franja horaria desde las 21:00 con picos significativos a las 23:00. En el caso de las viviendas, cuando más se consume es cuando se acaba la jornada laboral y los trabajadores están en casa para realizar las tareas domésticas como preparar la cena, poner el lavavajillas o poner lavadoras. Además, por la noche, es el momento en el que las personas necesitan iluminación en las estancias del hogar ya que comienza el final del día, sobre todo en los días del año que son más cortos. Por otro lado, en el ámbito de las actividades ganaderas de la explotación se tiende a atender las parideras tanto por la mañana como por la tarde, pero los sistemas de alimentación y suministro de agua operan las 24 horas del día. Esta combinación de picos de consumo en hogares y en la explotación ganadera durante la mañana y la tarde-noche resulta en un mayor consumo de energía eléctrica en esos períodos del día.

3.3.3 ANÁLISIS DE PICOS DE CONSUMO

De acuerdo con los registros de consumo eléctrico de la explotación en el último año, se ha registrado un consumo promedio de 2238,93 kWh al mes. No obstante, es de suma importancia tener en cuenta que existe una notoria variabilidad en el consumo a lo largo del año, como se ilustra en la figura 12. Para diseñar apropiadamente el sistema de energía fotovoltaica, es esencial conocer cuáles son los momentos de consumo máximo, de modo que el sistema pueda proporcionar suficiente energía en caso de ser necesario. En este contexto, el pico más alto de consumo se produce en el mes de febrero, alcanzando un consumo mensual de hasta 4749 kWh. Los aumentos significativos en el consumo, tal como se observa en el gráfico, se corresponden con los meses de invierno, destacándose especialmente enero, febrero y marzo. Esta fluctuación en el consumo se debe principalmente a que es durante esta época del año en la que más se utiliza la calefacción y la iluminación de las viviendas. Además, durante estos meses, la demanda de energía es más intensa debido a que se lleva a cabo el cuidado inicial de las crías en las instalaciones antes de permitirles crecer en las parcelas de la finca.

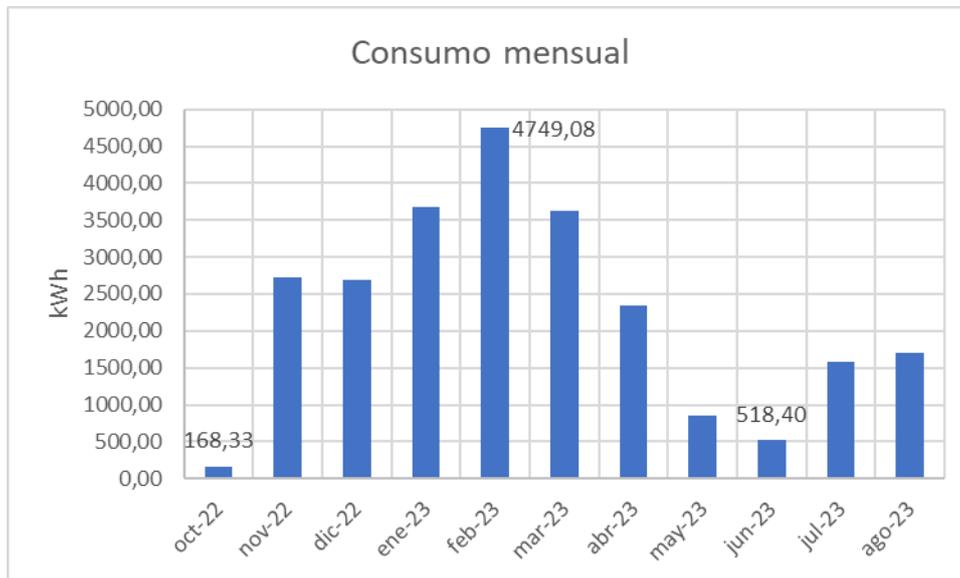


Figura 12: Consumo mensual en kWh de la explotación

Por otro lado, hay que destacar el consumo de la vivienda principal. Al ser una segunda residencia el consumo varía cada año, pero hay momentos en los que la familia se reúne al completo, que sería durante las vacaciones de Navidad, Semana Santa y los puentes que pueda haber en el año. Además, suelen ir aproximadamente la mitad de la familia una media de dos fines de semana al mes. Durante estos periodos el consumo energético aumenta coincidiendo además estas fechas con la cría de las cochinas en las naves.

Para concluir este capítulo, es importante destacar que el consumo mensual de la explotación incluyendo las viviendas es elevado, con un pico máximo de 4749,08 kWh en el mes de febrero y un mínimo de 518,40 kWh en el mes de junio del año 2023. No se tiene en cuenta el valor del mes de octubre 2022 ya que durante ese periodo la explotación cambió de compañía eléctrica, por lo que el valor no es representativo ya que el periodo de facturación es de corta duración, en este caso menor a un mes. Por lo tanto, la instalación de autoconsumo requiere unas necesidades máximas de aproximadamente 4750 kWh y unas necesidades mínimas de 520 kWh, al mes.

3.3.4 ANÁLISIS DEL CONSUMO DIARIO SEGÚN ZONAS EN LA EXPLOTACIÓN

El objetivo de este proyecto es instalar un sistema fotovoltaico aislado de la red. Debido a que el consumo eléctrico mensual de la explotación es elevado los diferentes equipos y componentes de este sistema deben de tener mucha capacidad. Para aliviar esa capacidad que deberían tener elementos como las baterías y la necesidad de grupos

electrógenos importantes se ha optado por dividir la explotación en tres instalaciones con sus propios equipos y componentes. Por lo tanto, la explotación se divide en las siguientes instalaciones independientes:

- Vivienda principal
- Vivienda trabajadores
- Naves

Para el dimensionamiento de las instalaciones se ha escogido el mes más desfavorable en cuanto a consumo. En el caso del año de estudio, el mes en el que más se ha consumido en la explotación es en febrero de 2023 con un consumo mensual de 169,61 kWh al día. Se han obtenido los datos de consumo para cada instalación, presentados en la tabla 5.



Figura 13: División de consumos por instalaciones de la explotación

Consumo diario (kWh)	Vivienda principal	Vivienda secundaria	Naves
oct-22	1,09	1,36	2,99
nov-22	18,13	22,66	49,85
dic-22	17,38	21,73	47,80
ene-23	23,75	29,69	65,32
feb-23	33,92	42,40	93,29
mar-23	23,40	29,25	64,35
abr-23	15,59	19,49	42,88
may-23	5,46	6,82	15,01
jun-23	3,46	4,32	9,50
jul-23	10,25	12,81	28,19
ago-23	10,95	13,69	30,11

Tabla 5: Consumo diario en kWh por instalación y mes

Los perfiles de consumo que hay en la explotación son diferentes según se trate el consumo de las viviendas o el consumo de las naves de trabajo. En este proyecto se ha tomado como referencia un perfil de consumo habitual en viviendas unifamiliares [17] que se ha tomado para representar las curvas de consumo en un día para las instalaciones referentes a las dos viviendas de la explotación. Sin embargo, el consumo de las naves tiene un perfil más plano, con un mayor consumo durante el día y menor consumo durante la noche. Los perfiles de consumo de las tres instalaciones se presentan en la figura 14.

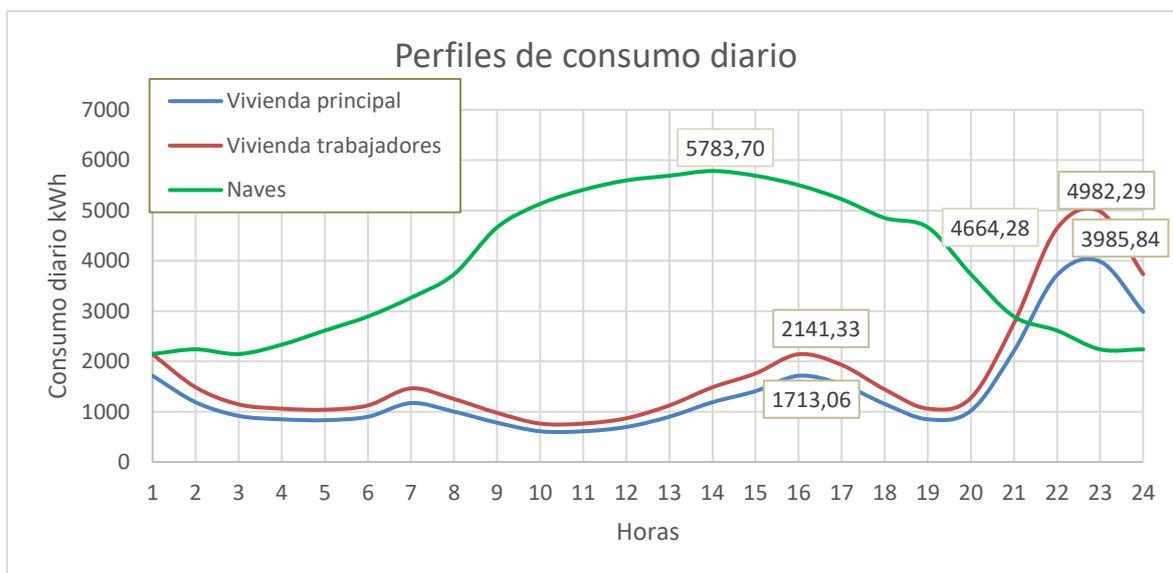


Figura 14: Perfiles diarios de consumo de las 3 instalaciones de la explotación

En la figura 14 se muestran las curvas de consumo de las instalaciones en el mes de mayor consumo, es decir en febrero 2023. Para cada instalación se ha resaltado los valores de mayor consumo durante el día para el dimensionamiento de las placas fotovoltaicas y los valores de mayor consumo en las horas donde no hay radiación solar y los sistemas deberán depender de baterías y grupos electrógenos.

Capítulo 4. AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO. NORMATIVAS Y REGULACIONES

España tiene una alta incidencia de días soleados a lo largo del año. Los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar ofrecen diversas alternativas. El autoconsumo fotovoltaico está experimentando un auge considerable y representa una solución ecológica para las necesidades energéticas, a la vez que resulta económicamente beneficioso para el consumidor una vez que se ha recuperado la inversión inicial. En este capítulo, se examinarán los distintos enfoques del autoconsumo fotovoltaico y se analizarán las regulaciones y normativas aplicables. Se tomará una decisión informada sobre la elección del sistema más adecuado tanto para el proyecto de la vivienda rural como para la explotación ganadera en cuestión.

4.1 TIPOS DE SISTEMAS DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

Existen diferentes tipos de sistemas de autoconsumo fotovoltaico, que se pueden clasificar en función de su ubicación y su conexión a la red. Dentro de los sistemas conectados a la red, se distinguen aquellos con compensación de excedentes de los que no cuentan con esta característica. En la Figura 13 se ilustra un esquema que representa la diversidad de sistemas de autoconsumo fotovoltaico disponibles en la actualidad. El proyecto objeto de estudio consiste en una instalación fotovoltaica aislada, es decir sin conexión a la red eléctrica convencional, la cual se caracteriza por ser hogar y empresa ganadera.



Figura 15: Tipos de sistemas de autoconsumo fotovoltaico. Fuente: Selectra.es

Dentro de las opciones de sistemas de autoconsumo, es posible distinguir entre sistemas de carácter individual y colectivo. Los sistemas individuales son apropiados para viviendas unifamiliares o empresas, mientras que los sistemas colectivos son más adecuados para edificios de viviendas u oficinas. En el contexto de este proyecto, estamos tratando con un conjunto de viviendas unifamiliares y la necesidad de cubrir las demandas energéticas de una explotación ganadera, lo que hace que el sistema a evaluar sea de carácter individual. A continuación, se presentan los diferentes tipos de sistemas de autoconsumo fotovoltaico individual.

- Autoconsumo aislado: Este sistema opera de manera independiente a la red eléctrica convencional, lo que significa que es completamente autónomo y no depende de ninguna compañía suministradora. Aunque garantiza un 100% de autoconsumo, requiere de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, generalmente mediante baterías. En situaciones en las que la capacidad de almacenamiento no sea suficiente, especialmente en función del tamaño y las necesidades de la instalación, podría ser necesario recurrir a grupos electrógenos que son capaces de suministrar la energía requerida. La principal desventaja de este enfoque se manifiesta cuando la energía almacenada no es capaz de satisfacer las demandas del consumidor durante los períodos sin luz solar, lo que puede resultar en problemas de confort en el caso de una vivienda y pérdidas para una empresa.



Figura 16: Autoconsumo aislado

- Autoconsumo conectado a red: Los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos pueden estar conectados a la red. Esto permite que los consumidores utilicen la energía solar producida por los paneles solares durante las horas de luz en el día. En los momentos en que no haya radiación solar disponible, el suministro eléctrico proviene de la red

convencional, garantizando así un suministro continuo. Como se ha mencionado anteriormente, dentro de los sistemas conectados a la red, se pueden distinguir dos variantes: con excedentes y sin excedentes.

- Los sistemas sin excedentes son aquellos que no inyectan en la red eléctrica la energía generada por los paneles solares, y para lograr esto, requieren de un dispositivo de antivertido.
- Los sistemas con excedentes posibilitan a los usuarios de las instalaciones de autoconsumo verter el exceso de energía no utilizada a la red eléctrica. Dentro de esta variante, se pueden encontrar sistemas con compensación y sin compensación. En el caso de la compensación, a través de una tarifa específica contratada con la compañía eléctrica comercializadora, se pueden recibir compensaciones económicas en función de la cantidad de excedentes inyectados en la red. Estas son las instalaciones fotovoltaicas más comunes, ya que garantizan el suministro de energía eléctrica y mejoran su rentabilidad gracias a la compensación de los excedentes, lo que se traduce en un menor coste en la factura de electricidad.



Figura 17: Autoconsumo conectado a red

4.2 NORMATIVAS Y REGULACIONES

Al igual que cualquier planta de generación de energía, las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico también deben cumplir con normativas y regulaciones específicas. En el contexto de la transición energética, es importante señalar que la obtención de permisos y la gestión de trámites relacionados con estos sistemas de autoconsumo fotovoltaico se han simplificado por parte de las autoridades tanto a nivel nacional como de

la Unión Europea. Sin embargo, aunque este proceso se ha agilizado, todavía es necesario llevar a cabo los procedimientos requeridos en cada comunidad autónoma y los ayuntamientos locales. En este apartado se señala las principales leyes y regulaciones que estas instalaciones deben seguir.

- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, establece las regulaciones para distintas modalidades de autoconsumo fotovoltaico en España, detallando las categorías previamente mencionadas. Esta ley representa la modificación de ciertos aspectos del Real Decreto 15/2018, en relación con la urgencia que requería la transición energética. Las modificaciones principales incluyen la derogación del conocido “impuesto al sol”, el reconocimiento al derecho al autoconsumo colectivo, la agilización de procedimientos administrativos y técnicos relacionados con las inversiones en autoconsumo, la eliminación del límite de potencia instalada así como la posibilidad de alquilar tejados o cubiertas a terceros.
- Reglamento Electrotécnico de Baja tensión (REBT), aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 agosto. Los sistemas de autoconsumo aplican este reglamento para garantizar las condiciones de seguridad de las personas así como la protección de los elementos electrotécnicos de la instalación como las protecciones contra sobrecorrientes y sobretensiones. El REBT también establece requerimientos para el diseño y la instalación de elementos del sistema, como los paneles fotovoltaicos y los inversores, así como las disposiciones necesarias en relación con las conexiones a tierra. Otro punto importante es la interconexión con la red eléctrica en los casos de sistemas de autoconsumo conectados a la red. Además, se considera la inspección y mantenimiento de los sistemas y su periodicidad.
- Normas UNE.
- INSTRUCCIÓN 03/2023, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, sobre tramitación de instalaciones de autoconsumo en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Este documento establece los procedimientos específicos y requisitos para la tramitación de instalaciones de autoconsumo en la Comunidad Autónoma de Extremadura, que es donde se ubica la instalación de este proyecto.

Capítulo 5. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

5.1 EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS SOLARES

Este apartado se adentra en el análisis del clima en la vivienda rural, ubicada a unos 20 km de Aliseda. Para evaluar la región de estudio, se han recopilado datos meteorológicos específicos de Aliseda, que incluyen la temperatura media, las precipitaciones medias, las horas de luz diarias, la nubosidad y la energía solar de onda corta incidente diaria promedio. Estos datos, recopilados a lo largo de varios años, ofrecen una visión integral y detallada del clima en la zona.

Los datos de las condiciones meteorológicas, así como la incidencia de rayos solares en la zona, son necesarios para el correcto diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica de la vivienda objeto de estudio.

Aliseda, que es la población más cercana, se encuentra en la zona central de Extremadura, donde los veranos son secos y calurosos, mientras que los inviernos son fríos y la mayor parte del tiempo con cielos nublosos. A continuación, se presenta información gráfica sobre la temperatura promedio de Aliseda, así como los niveles de nubosidad.

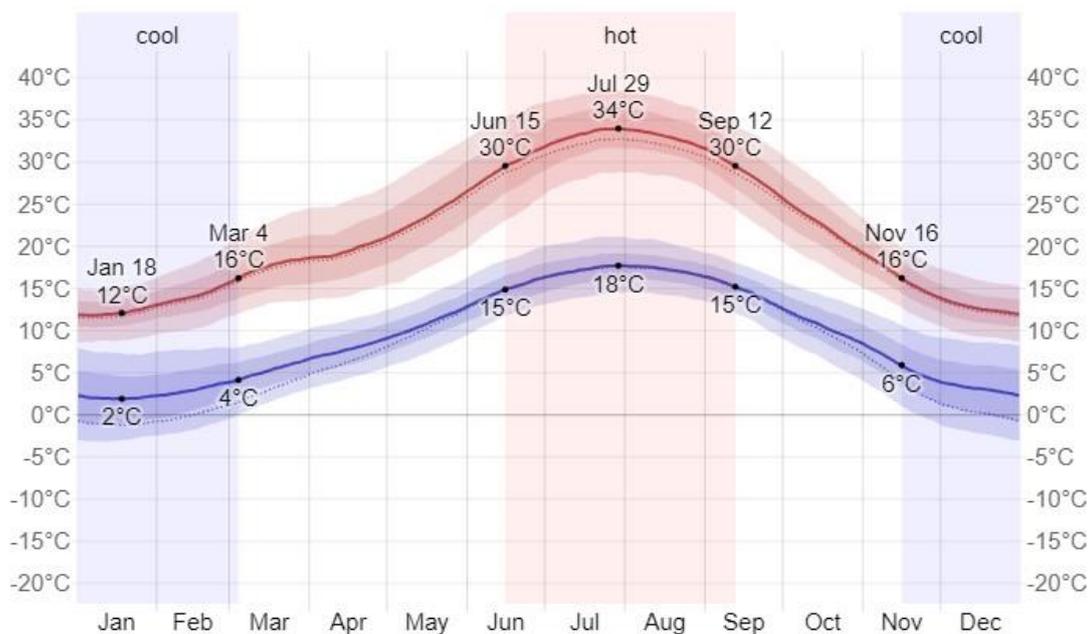


Figura 18: Temperaturas mínima y máxima promedio en Aliseda [16]

Promedio	Ene	Feb	Mar	Abr	Puede	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alto	12°C	14°C	18°C	20°C	24°C	30°C	33°C	33°C	29°C	22°C	16°C	13°C
Temperatura.	7°C	8°C	12°C	14°C	17°C	22°C	25°C	25°C	22°C	16°C	11°C	8°C
Bajo	2°C	3°C	5°C	8°C	11°C	15°C	17°C	17°C	15°C	10°C	6°C	3°C

Tabla 6: Temperaturas mínima y máxima promedio por mes en Aliseda [16]

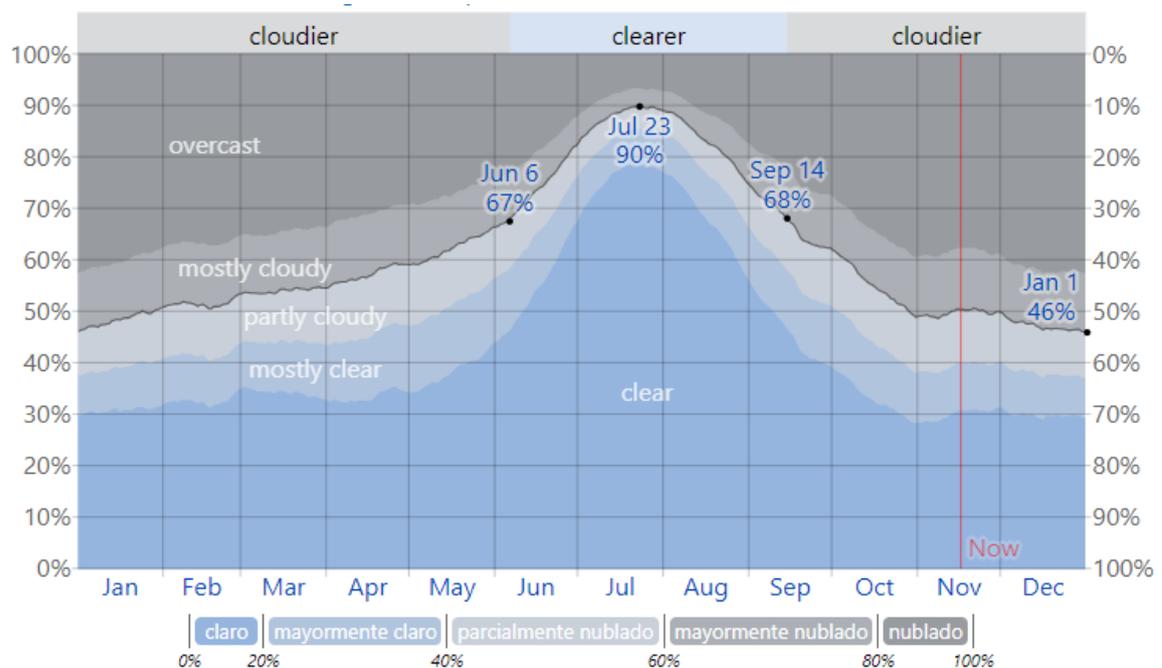


Figura 19: Categorías de nubosidad en Aliseda [16]

Otro aspecto importante que considerar es la cantidad de precipitaciones en la región. En este área, las probabilidades de lluvia son notablemente bajas en comparación con otras regiones de España, lo que contribuye a la característica de cielos mayormente despejados a lo largo del año. La Figura 18 presenta de manera gráfica las probabilidades de lluvia en Aliseda, expresadas en porcentajes.



Figura 20: Probabilidad diaria de precipitación en Aliseda [16]

Después de recopilar la información meteorológica, la siguiente etapa consiste en analizar la radiación solar en la región. En la Figura 19, se detallan datos acerca de la incidencia de rayos de onda corta en Aliseda. Esta radiación abarca tanto la luz visible como la radiación ultravioleta. Los datos presentados consideran las condiciones atmosféricas, el nivel de nubosidad y las variaciones estacionales.

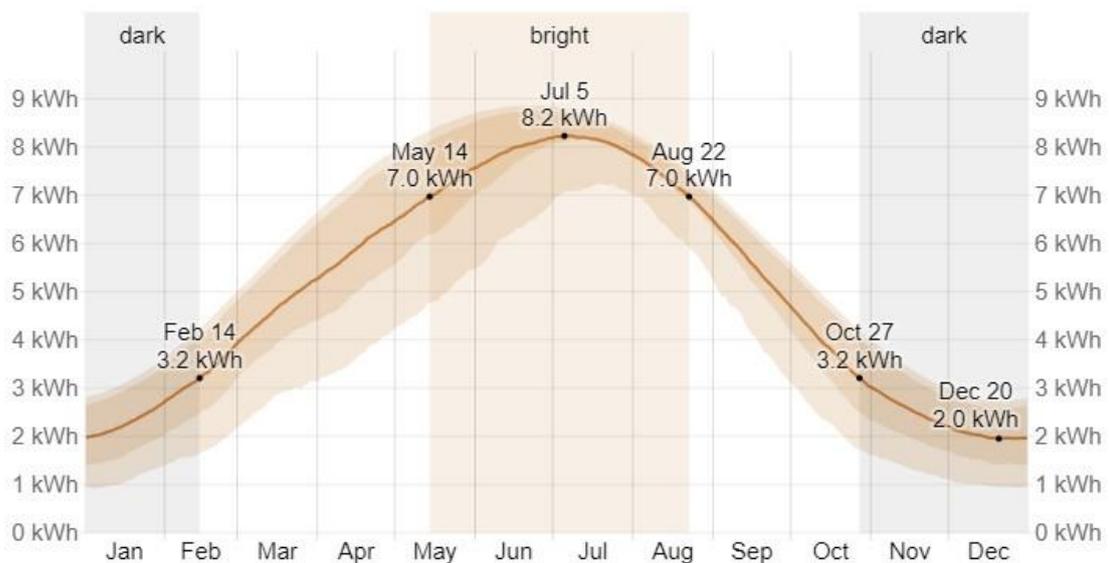
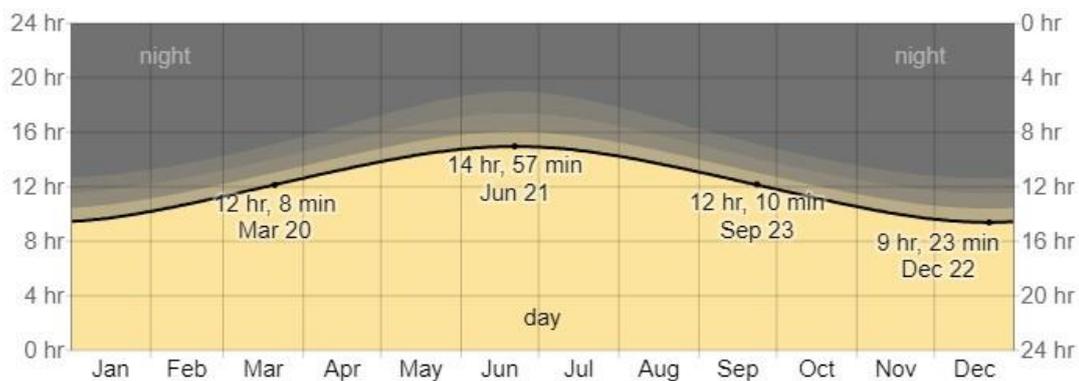


Figura 21: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en Aliseda [16]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Solar Energy (kWh)	2.3	3.3	4.7	5.9	7.1	8.0	8.1	7.2	5.5	3.8	2.6	2.0

Tabla 7: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en Aliseda [16]

Coincidiendo con los meses de verano, donde las temperaturas alcanzan su punto más alto y el clima se vuelve más favorable, se verifica una relación directa con los períodos de mayor exposición a la radiación solar, superando los 8 kWh. Este hallazgo se alinea con la información recopilada previamente sobre el clima y la radiación solar en la zona de Aliseda, fortaleciendo así nuestra comprensión integral de las condiciones ambientales que impactan la vivienda rural y sus alrededores.



Horas de	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Luz	9,8h	10,7h	12,0h	13,3h	14,4h	14,9h	14,6h	13,6h	12,4h	11,1h	10,0h	9,4h

5.2 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Se emplearán los consumos máximos registrados en el mes de febrero para dimensionar la explotación agrícola, fijándose en cada una de las instalaciones detalladas en el apartado 3.3.4. Los componentes principales de una instalación fotovoltaica aislada se constituyen de los paneles fotovoltaicos, el regulador de carga, los sistemas de almacenamiento de energía para las horas sin luz y los inversores. Tras dimensionar estos equipos se procede al cálculo del cableado. Y por último se estudiará la necesidad de protecciones adecuadas.

5.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos desempeñan la función de generadores de energía eléctrica al absorber la radiación solar. Durante las horas de luz, las placas se encargan de la producción de energía en las tres instalaciones de la explotación. Los criterios que se utilizan para el dimensionamiento de estas se considera la potencia nominal de las placas, su eficiencia, y su precio. Además, es importante tener una perspectiva global de la instalación para escoger la disposición de las placas que mejor se adapte a cada instalación definida. Esto implica calcular la cantidad de placas que se conectan en serie y en paralelo. A continuación, se presenta los resultados de los cálculos realizados, así como los criterios escogidos para determinar el tipo de placa fotovoltaica y su disposición.

En primer lugar, se coge como referencia el pico de consumo máximo de cada instalación.

CONSUMO ELÉCTRICO		
Vi.ppl	1717,06	Wh
Vi.tra	2141,33	Wh
Naves	5783,7	Wh

Tabla 8: Pico consumo diario del mes de febrero 2023 por instalación

Para alcanzar la potencia pico que deben tener como mínimo las placas, se procede a calcular la capacidad neta de la batería. Para ello es necesario establecer cuántos días de autonomía requieren las instalaciones. En este proyecto, se ha escogido una autonomía de 4 días para asegurar el suministro adecuado de energía cuando los paneles no puedan satisfacer dichas necesidades. En la tabla 9 se presenta la capacidad neta de las baterías que consiste en multiplicar el consumo de cada instalación por los días de autonomía.

CAPACIDAD BATERÍAS		
Autonomía	4	días
Capacidad Neta	Vi.ppl	6868,24 Wh
	Vi.tra	8565,32 Wh
	Naves	23134,8 Wh

Tabla 9: Capacidad neta de las baterías

La potencia pico de los módulos fotovoltaicos se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Potencia\ pico\ necesaria\ (kWp) = \frac{Capacidad\ neta\ batería\ (kWh)}{HSP * Rendimiento}$$

- HSP: Horas Solares Pico, se obtiene de los datos de irradiancia solar en las coordenadas exactas de la explotación a través de la base de datos de PVGIS [17].
- Rendimiento del 86 %, dato por defecto de la base de datos PVGIS [17].

CÁLCULO POTENCIA PICO		
HSP	4,58	kWh/día
Rendimiento	86%	
Potencia pico Necesaria	Vi.ppl	1,74 kWp
	Vi.tra	2,17 kWp
	Naves	5,87 kWp

Tabla 10: Cálculo de la potencia pico necesaria por instalación

Con la potencia pico calculada, se procede a la elección de los módulos fotovoltaicos. Para ello, se ha realizado una búsqueda en el mercado de placas fotovoltaicas de potencia pico nominal en un rango de potencias entre los 450 W y 670 W de varias marcas. Son paneles solares con una tensión del sistema de 48 V, que tienen potencias nominales mayores que los módulos de 24 V y 12 V. Las opciones que se han barajado se presentan en la tabla 11. Se ha escogido las placas con **potencia de 550 W** de la marca **JA Solar** para las tres instalaciones. Estas placas se caracterizan por tener una buena eficiencia, así como un precio razonable entre las opciones propuestas. Además, con una garantía de 30 años, este modelo de módulo fotovoltaico tiene un porcentaje de degradación menor a otros modelos.

Placas solares	Características					
	Empresas	Potencia	Eficiencia	Precio unidad	€/W	Tipo de placa
Trina Solar	570	21,10%	120,7	0,212	monocristalino	25 años/0,53%
	670	21,60%	324,28	0,484	monocristalino	25 años/0,53%
Longi Solar	580	22,60%	207,67	0,358	monocristalino	25 años/0,4%
	450	23%	165,15	0,367	monocristalino	25 años/0,4%
JA Solar	545	21,10%	148,59	0,273	monocristalino	25 años/0,55%
	550	21,30%	153,6	0,279	monocristalino	30 años/0,45%
Tongwei	550	21,50%	168,38	0,306	monocristalino	25 años/0,55%

Tabla 11: Características de placas solares

Tras la elección del modelo que se va a utilizar se procede a calcular el número de placas necesarias en cada instalación, así como su disposición en serie y en paralelo.

Potencia panel FV	Número de paneles	
550 W	Vi.ppl	4
	Vi.tra	4
	Naves	11

Tabla 12: Número de paneles por instalación

Para conocer la disposición de los módulos de cada instalación se calcula el número de paneles solares máximo que se puede poner en serie. Para ello es necesario conocer la tensión máxima de trabajo del regulador y la tensión máxima de circuito abierto del panel elegido. En el próximo apartado, el 5.2.2, se explica más en detalle el regulador de carga escogido para cada instalación. Para los tres casos se va a escoger reguladores de carga de tipo MPPT, y las tensiones máximas que se van a analizar son 150 V y 250 V.

$$N_{\text{seriemáx}} = \frac{\text{Voltaje máximo de trabajo del regulador}}{\text{Voc paneles}}$$

- Voc = 49,9 V: Tensión de circuito abierto de las placas de 550 W de JA Solar

NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS EN SERIE		
MPPT - Voc	150	3
MPPT - Voc	250	5

Tabla 13: Número máximo de módulos en serie según regulador de carga

Tensión MPPT	Instalaciones	Serie	Paralelo
150 V	Vi.ppl	2	2
	Vi.tra	2	2
	Naves	3	4
250 V	Vi.ppl	4	0
	Vi.tra	4	0
	Naves	4	3

Tabla 14: Disposición de los módulos fotovoltaicos

Finalmente, el regulador MPPT será de 150 V para las tres instalaciones. En cuanto a la configuración de módulos fotovoltaicos, en las viviendas se podría colocar un módulo más en serie, habiendo un total de 5 paneles por vivienda con una fila de 3 paneles en paralelo con una fila de 2 paneles. Por lo tanto, al añadir una placa de más en las dos viviendas, se asegura que haya cierto margen en la producción de energía y no se limite a cubrir las necesidades de consumo del año que se ha escogido para el estudio. Además, en las naves, el número de placas obtenido es de 11 paneles (tabla 12) para cubrir el consumo de estas, sin embargo, se ha optado por añadir otra teniendo una configuración de 4x3 módulos fotovoltaicos. Por otro lado, tener un módulo de más en cada instalación da más seguridad a la hora de garantizar la producción y el suministro de energía eléctrica, sobre todo en caso de que un panel deje de funcionar en algún momento. Al ser paneles de precio económico, no supone mucho coste extra, en la inversión que se deberá realizar.

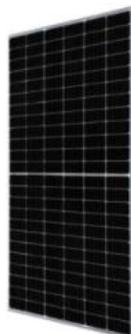


Figura 22: Módulo FV de JA Solar de 550 W

5.2.2 REGULADOR DE CARGA

La relevancia y funcionamiento del regulador de carga en una instalación fotovoltaica se ha explicado previamente en el apartado 2.2.2. En esta sección, el enfoque está en la elección del regulador de carga que mejor se adapte a las tres instalaciones aisladas de la explotación. En este contexto, se ha escogido para las tres instalaciones un **regulador MPPT** en lugar de un PWM, ya que es capaz de posicionarse en el punto de máxima potencia que permite suministrar más carga a la batería. Aunque los reguladores MPPT tienen un costo superior, su eficiencia, que alcanza alrededor del 99%, justifica su elección. En las tablas 15 y 16 se presenta qué corriente máxima se alcanza con la configuración de módulos que se ha seleccionado. En la tabla 17, se muestra los dos reguladores escogidos, ambos de la marca **VICTRON**, una empresa reconocida en el ámbito de equipos para instalaciones fotovoltaicas. El modelo de 150 V/60 A será el que se instale en las naves y se obtendrán otros dos del modelo 150 V/35 A para las dos viviendas.

MPPT	Instalación	Número paneles	Fila 1 en serie	Fila 2 en serie	Paralelo	Imáx
150 V	Vi.ppl	5	2	3	2	26,22
	Vi.tra	5	2	3	2	26,22

Tabla 15: Corriente máxima según configuración de módulos FV para las viviendas

MPPT	Instalación	Número paneles	Serie	Paralelo	Imáx
150 V	Naves	12	3	4	52,44

Tabla 16: Corriente máxima según configuración de módulos FV para las naves

Marca	Modelo	Precio €	Vsistema	Vmáx	Imáx	Pmáx
VICTRON	Smart Solar	634,04	48	150	60	3440
VICTRON	Smart Solar	377,52	48	150	35	2000

Tabla 17: Reguladores de carga escogidos



Figura 23: Reguladores de carga MPPT para las instalaciones

5.2.3 BATERÍAS

Las baterías desempeñan un papel esencial en los sistemas fotovoltaicos aislados ya que son las que se encargan de suministrar energía a las instalaciones cuando las placas solares no puedan. En las instalaciones fotovoltaicas se pueden utilizar diferentes tipos de baterías, considerando varios criterios como el costo, el rendimiento, el impacto medioambiental o el tamaño de la instalación. En este caso, se ha optado por baterías de litio ya que son baterías que no necesitan mantenimiento y no emiten gases de efecto invernadero.

Existen dos alternativas de sistemas fotovoltaicos aislados: aquellos que solo cuentan con baterías y aquellos que incorporan baterías junto con grupos electrógenos. En este caso, la opción escogida es la de combinar las baterías con grupos electrógenos. Esta elección se fundamenta en la necesidad de abastecer instalaciones con elevados consumos, especialmente durante las noches cuando la radiación solar es nula. Además, los grupos electrógenos aumentan la seguridad del suministro en este tipo de instalaciones. Los grupos electrógenos funcionan cuando las baterías no son capaces de suministrar toda la demanda en un momento dado o para cuando haya malos funcionamientos de estas.

Al seleccionar las baterías hay que fijarse en parámetros como los días de autonomía y el DOD (Depth of Discharge) o en español Profundidad de descarga. El DOD representa

la velocidad de descarga de las baterías. En la tabla 18, se detallan las características que requiere la explotación calculando la capacidad de las baterías para cada instalación con una autonomía de 4 y un DOD del 80%.

CAPACIDAD BATERÍAS		
Autonomía	4 días	
Capacidad Neta	Vi.ppl	6868,24 Wh
	Vi.tra	8565,32 Wh
	Naves	23134,80 Wh
DOD(%)	80%	
Capacidad Bruta	Vi.ppl	8585,30 Wh
	Vi.tra	10706,65 Wh
	Naves	28918,50 Wh
Tensión baterías 48 V	Vi.ppl	178,86 Ah
	Vi.tra	223,06 Ah
	Naves	602,47 Ah

Tabla 18: Capacidad baterías

La elección recae en la batería modelo **Dyness B4850** para las tres instalaciones, cuyas características se detallan en la tabla 19. Esta elección se fundamenta en su asequible costo en comparación con otras marcas. Aunque posee una profundidad de descarga (DOD) del 80%, destaca por sus ciclos de vida prolongados en comparación con baterías de menor DOD. Es necesario colocar varias baterías en cada instalación (tabla 20).

BATERÍA	
Marca	Dyness
Modelo	B4850
Tensión batería	48 V
Capacidad Nominal	50 Ah
Potencia nominal	2400 Wh
DOD	80%
Ciclos	6000
Precio unitario	730 €

Tabla 19: Modelo de baterías

Número Baterías	
V.ppl	4
V.tra	5
Naves	13

Tabla 20: Número de baterías por instalación



Figura 24: Batería Dyssen B4850

5.2.4 GRUPOS ELECTRÓGENOS

En los sistemas fotovoltaicos aislados es muy probable que sean necesarios los grupos electrógenos para garantizar el suministro cuando las baterías no sean capaces. Estas instalaciones se denominan “Híbridas” añadiendo la característica de seguridad del suministro a la instalación. Los generadores se encargan también de cargar las baterías. Para dimensionar el grupo electrógeno se tendrá en cuenta la potencia del inversor y un porcentaje de la potencia del total de las baterías instaladas. Por otro lado, hay que comprobar que la potencia de carga de las baterías no supera el 35% de la potencia del grupo electrógeno [18]. Para ello se han elegido inversores con potencia nominal de 4 kW y 6,4 kW, que se explicará en el siguiente apartado.

$$P_{total} = P_{inversor} + P_{carga_{bat}}$$

$$P_{carga_{bat}} = 0,10 * P_{total_{bat}} < 0,35 * P_{gen}$$

	P.inversor (W)	Ptotal bat (W)	10%Pbat (W)	Pgrupo (W)	Comprobación	
Vi.ppl	4000	9600	960	4960	19%	OK
Vi.tra	6400	12000	1200	7600	16%	OK
Naves	6400	31200	3120	9520	33%	OK

Tabla 21: Comprobación par el dimensionamiento de los grupos electrógenos

Hay grupos electrógenos de gasolina o diésel. En este proyecto se han escogido baterías con combustible diésel ya que es más económico. En la tabla 22 y 23 se presentan los grupos electrógenos escogidos con sus características. Para la vivienda principal se utilizará el generador eléctrico **ITC Power 6100XE** y para las naves el grupo electrógeno de 10 kW, de **ITC Power DG11KSEm**. En el caso de las viviendas de los trabajadores hay dos opciones: utilizar dos generadores del modelo 6100 XE que sería más económico, pero más complicado de coordinar, o bien el generador del modelo DG11KSEm. Se ha optado por la segunda opción.

Grupo electrógeno ITC Power-DG11KSEm	
Potencia Nominal	10 kW
Potencia Máxima	11 kW
Frecuencia	50 Hz
Voltaje	230 V
Intensidad	43,5 A
Capacidad de combustible	46 litros
Autonomía	13 horas

Tabla 22: Características Grupo electrógeno ITC Power-DG11KSEm



Figura 25: Grupo electrógeno ITC Power-DG11KSEm

Grupo electrógeno ITC Power-6100XE	
Potencia Nominal	5 kW
Potencia Máxima	5,3 kW
Frecuencia	50 Hz
Voltaje	230 V
Intensidad	28 A
Capacidad de combustible	14 litros
Autonomía	12 horas

Tabla 23: Características Grupo electrógeno ITC Power-6100XE



Figura 26: Grupo electrógeno ITC Power-6100XE

5.2.5 INVERSOR

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua del sistema fotovoltaico a la corriente alterna de las instalaciones de la explotación. Para dimensionar el inversor es necesario tener en cuenta la potencia pico que hay en cada instalación. En la tabla 24, se presentan estos picos de consumo del mes de febrero de 2023, diferenciando los picos diurnos y nocturnos. Observando la tabla, para la elección de los inversores se tendrá en cuenta la potencia pico del día de las naves (5,78 kWh) y los consumos de la noche de las dos viviendas (3,99 kWh para la vivienda principal y 4,98 kWh para la vivienda de los trabajadores).

CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO MÁXIMO		
DÍA	Vi.ppl	1,72 kWh
	Vi.tra	2,14 kWh
	Naves	5,78 kWh
NOCHE	Vi.ppl	3,99 kWh
	Vi.tra	4,98 kWh
	Naves	4,66 kWh

Tabla 24: Máximos consumos diarios

Al tratarse de un sistema de almacenamiento híbrido, es decir compuesto de baterías con grupo electrógeno, el inversor será un inversor-cargador que permita controlar las cargas de la batería. Se ha escogido el inversor Multiplus II de la marca Victron, cuyas

características se presentan en la tabla 24. Para cada instalación se selecciona un inversor de este tipo según la potencia pico máxima de cada una (tabla 25). Los inversores tienen una tensión del sistema de 48 V.

Modelos inversores	Instalaciones	Potencia de entrada
Multiplus II	Vi.ppl	4 kW
	Vi.tra	6,4 kW
	Naves	6,4 kW

Tabla 25: Potencia de los inversores escogidos para cada instalación

MultiPlus-II	12/3000/120-32 24/3000/70-32 48/3000/35-32	24/5000/120-50 48/5000/70-50	48/8000/110-100	48/10000/140-100
PowerControl y PowerAssist	SI			
Conmutador de transferencia	32 A	50 A	100 A	50 A
Corriente máxima de entrada CA	32 A	50 A	100 A	50 A
INVERSOR				
Rango de tensión de entrada CC	12V - 9,5-17 V	24 V - 19-33 V	48 V - 38-66 V	
Salida	Tensión de salida: 230 V CA \pm 2 % Frecuencia: 50 Hz \pm 0,1 % (1)			
Potencia cont. de salida a 25 °C (3)	3000 VA	5000 VA	8000 VA	10000 VA
Potencia cont. de salida a 25°C	2400 W	4000 W	6400 W	8000 W
Potencia cont. de salida a 40 °C	2200 W	3700 W	5500 W	7000 W
Potencia cont. de salida a 65 °C	1700 W	3000 W	4000 W	6000 W
Balance neto máximo aparente (corriente retornada a la red)	3000 VA	5000 VA	8000 VA	10000 VA
Pico de potencia	5500 W	9000 W	15000 W	18000 W
Eficacia máxima	93 % / 94 % / 95 %	96 %	95 %	96 %
Consumo en vacío	13 / 13 / 11 W	18 W	29 W	38 W
Consumo en vacío en modo AES	9 / 9 / 7 W	12 W	19 W	27 W
Consumo en vacío en modo búsqueda	3 / 3 / 2 W	2 W	3 W	4 W

Tabla 26: Características del inversor cargador Multiplus II



Figura 27: Inversor cargador Multiplus II-VICTRON

5.2.6 CABLEADO

El cableado de los sistemas fotovoltaicos es el componente que permite la conexión entre los diferentes equipos del sistema. Habrá cables de corriente continua que compondrán la mayor parte de las instalaciones, y por otro lado cables de corriente alterna que vayan desde el inversor a las tomas de corrientes de las viviendas y las naves de la explotación.

Los sistemas fotovoltaicos utilizan cables específicos que son normalmente unipolares y de cobre. Sus características fundamentales incluyen asegurar una conductividad eficiente y un buen aislamiento, dado que estos cables se instalan en exteriores y están expuestos a condiciones climáticas adversas como lluvias o temperaturas extremas. Además, es esencial que cuenten con medidas de protección contra incendios.

Para seleccionar los cables se debe calcular la sección transversal de los mismos, teniendo en cuenta la tensión del sistema (en este caso sería de 48 V para las tres instalaciones), la corriente que deben soportar, la longitud de los tramos, la caída de tensión máxima recomendada según la normativa y el aislamiento. Los tramos que se encuentran en esta instalación se encuentran desde los paneles solares hasta el regulador solar, desde el regulador solar hasta las baterías, desde las baterías hasta el inversor y por último desde el inversor hasta el punto de consumo.

En esta explotación el cable que se va a utilizar para las tres instalaciones para la corriente continua es el siguiente: **PV H1Z2Z2-K 1,5/1,5 (1,8) kV DC**, de Top Solar. Estos cables presentan las propiedades mencionadas previamente ideales para los sistemas fotovoltaicos residenciales. Se componen de cobre y no de aluminio, con el que se consigue mejor conductividad con secciones más pequeñas, y cuentan con doble aislamiento con la característica de no propagar incendios. Para el tramo de corriente alterna se ha utilizado el cable cable **Afumex Class 1000 V (AS)**.



Figura 28: Cable CC, PV H1Z2Z2-K 1,5/1,5 (1,8) kV [20]



Figura 29: Cable CA, Afumex Class 1000 V (AS) [21]

5.2.7 PROTECCIONES

Los sistemas fotovoltaicos no dejan de ser sistemas eléctricos, por lo que conllevan inherentemente riesgos. En consecuencia, es necesario implementar protecciones para garantizar la seguridad de las personas y de las propias instalaciones. El sistema de protecciones debe cumplir con las normativas vigentes, como las establecidas en el Reglamento Electrotécnico de Baja tensión (REBT).

En los sistemas solares están presentes tanto la corriente continua como alterna, tal como se ha comentado en los apartados anteriores. Por tanto, resulta imperativo adaptar las protecciones a cada uno de estos circuitos. Asimismo, es crucial considerar la conexión a tierra de las placas fotovoltaicas. En este caso, la tensión de las placas y del sistema de corriente continua es de 48 V, lo que representa una tensión alta y es necesario las tomas a tierra. Las protecciones de la instalación serán contra cortocircuitos, sobreintensidades, y sobretensiones. A continuación, se listan las protecciones del sistema fotovoltaico.

Circuito de corriente continua:

- Fusibles
- Seccionador de corte
- Descargador de sobretensiones
- Interruptores magnetotérmicos

Circuito de corriente alterna:

- Interruptores magnetotérmicos
- Interruptores diferenciales

5.3 RESUMEN DE LOS COMPONENTES SELECCIONADOS PARA LAS TRES INSTALACIONES

	Equipos	Modelo	Tensión del sistema	Características principales
Vivienda principal	Paneles FV	JA Solar	48 V	P _{máx} = 550 W
	Regulador de carga	VICTRON-Smart Solar Charge Controller MPPT		V _{máx} = 150 V I _{máx} = 35 A
	Baterías	Dyness B4850		DOD = 80% Capacidad nominal = 50 Ah Ciclos = 6000
	Grupo electrógeno	ITC Power-6100XE		P _{nominal} = 5 kW Capacidad de combustible = 14 litros Autonomía = 12 horas
	Inversor	VICTRON- Inversor/cargador MultiPlus-II		Potencia salida = 4 kW
Vivienda trabajadores	Paneles FV	JA Solar	48 V	P _{máx} = 550 W
	Regulador de carga	VICTRON-Smart Solar Charge Controller MPPT		V _{máx} = 150 V I _{máx} = 60 A
	Baterías	Dyness B4850		DOD = 80% Capacidad nominal = 50 Ah Ciclos = 6000
	Grupo electrógeno	ITC Power-DG11KSEm		P _{nominal} = 10 kW Capacidad de combustible = 46 litros Autonomía = 13 horas
	Inversor	VICTRON- Inversor/cargador MultiPlus-II		Potencia salida = 6,4 kW
Naves	Paneles FV	JA Solar	48 V	P _{máx} = 550 W
	Regulador de carga	VICTRON-Smart Solar Charge Controller MPPT		V _{máx} = 150 V I _{máx} = 60 A
	Baterías	Dyness B4850		DOD = 80% Capacidad nominal = 50 Ah Ciclos = 6000
	Grupo electrógeno	ITC Power-DG11KSEm		P _{nominal} = 10 kW Capacidad de combustible = 46 litros Autonomía = 13 horas
	Inversor	VICTRON- Inversor/cargador MultiPlus-II		Potencia salida = 6,4 kW

Capítulo 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se estudia la viabilidad del proyecto mediante un análisis económico. Se evalúa el desembolso inicial, abarcando los costes de componentes y equipos del sistema fotovoltaico aislado, así como otros gastos asociados a la mano de obra necesaria para la instalación y el mantenimiento de los tres sistemas de la explotación. Con esta información se procede a calcular el periodo de amortización y el retorno de la inversión. Según los resultados obtenidos se llegará a una conclusión sobre la viabilidad de llevar a cabo la inversión.

6.1 COSTOS DE LOS COMPONENTES Y EQUIPOS DEL SISTEMA FV AISLADO

El análisis económico se realiza analizando las salidas de capital y el ahorro económico que supondría. En términos de costes, se evaluarán el CAPEX y el OPEX del proyecto [23]. El periodo de estudio escogido es de 25 años.

El CAPEX se refiere a los gastos de capital, relacionados al desembolso en activos físicos de una empresa. En este proyecto, los gastos asociados al CAPEX se asocian a las inversiones que la familia propietaria debería realizar durante la vida útil del sistema. Para determinar dicha inversión se debe tener en cuenta el precio de todos los componentes de los tres sistemas fotovoltaicos que se pretenden instalar en esta explotación además del coste de la instalación de los sistemas. En la tabla 27, se recopila el coste de adquisición de todos los equipos según la instalación correspondiente. Además, se contemplará el coste del reemplazo de los equipos cuya vida útil sea menor al periodo de análisis escogido. Los equipos que se deberían de reemplazar son las baterías, los reguladores de carga y los inversores. La vida útil de estos equipos es de aproximadamente 15 años, por lo que serán reemplazados una vez en el periodo de análisis de 25 años.

Por otro lado, hay que considerar los gastos operativos, conocidos como OPEX, asociados al proyecto. Estos costos, a diferencia de los debidos al CAPEX, se valoran según un periodo de un año. Dentro de los costos de operación de este proyecto, se tendrá en cuenta el mantenimiento de los equipos y el combustible de los grupos electrógenos, asumiendo un coste fijo anual. Estos costos se ven reflejados en las tablas 28 y 29.

	Componente sistema FV	Precio unitario	Unidades	Precio total	
Vivienda principal	Paneles FV-JA Solar	153,60 €	5	768,00 €	8.099,32 €
	Regulador MPPT-150V/35A	377,52 €	1	377,52 €	
	Baterías	730 €	4	2.920,00 €	
	Grupo electrogeno 5kW	1.604,25 €	1	1.604,25 €	
	Inversor 4kW	1.725,59 €	1	1.725,59 €	
	Cableado	300,92 €			
	Protecciones	403,04 €			
	Gastos instalación sistema	809,93 €			
Vivienda Trabajadores	Paneles FV-JA Solar	153,60 €	5	768,00 €	16.221,03 €
	Regulador MPPT-150V/35A	377,52 €	1	377,52 €	
	Baterías	730 €	5	3.650,00 €	
	Grupo electrogeno 10 kW	6.500 €	1	6.500,00 €	
	Inversor 6,4kW	3.799,18 €	1	3.799,18 €	
	Cableado	481,47 €			
	Protecciones	644,86 €			
	Gastos instalación sistema	1.622,10 €			
Naves	Paneles FV-JA Solar	153,60 €	12	1.843,20 €	23.392,75 €
	Regulador MPPT-150V/60A	634,04 €	1	634,04 €	
	Baterías	730 €	13	9.490,00 €	
	Grupo electrogeno 10 kW	6.500 €	1	6.500,00 €	
	Inversor 6,4kW	3.799,18 €	1	3.799,18 €	
	Cableado	481,47 €			
	Protecciones	644,86 €			
	Gastos instalación sistema	2.339,28 €			
TOTAL				52.484,42 €	

Tabla 27: Costes de los componentes del sistema FV de cada instalación (CAPEX)

	Viv. Principal	Viv. Trabajadores	Naves
Baterías	2.920,00 €	3.650,00 €	9.490,00 €
Inversores	1.725,59 €	3.799,18 €	3.799,18 €
Reg. Carga	377,52 €	377,52 €	634,04 €
Total	5.023,11 €	7.826,70 €	13.923,22 €

Tabla 28: Reemplazo de equipos (CAPEX)

	Mantenimiento	Combustible
Viv. Principal	80,99 €	32,09 €
Viv. Trabajadores	162,21 €	162,50 €
Naves	233,93 €	130,00 €
Total	477,13 €	324,59 €

Tabla 29: Costos debido al mantenimiento y el combustible de los grupos electrógenos (OPEX)

6.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

6.2.1 AHORRO POR AUTOCONSUMO

Para determinar la viabilidad económica de la instalación de un sistema fotovoltaico aislado en la explotación, es esencial realizar un cálculo del ahorro económico que conllevaría. Al tratarse de un sistema fotovoltaico aislado de la red, su característica principal definida en el apartado 4.1, es que no depende en absoluto de la red, es decir, es un sistema autosuficiente, lo que implica la no contratación de tarifas eléctricas con proveedores externos. La premisa utilizada para calcular dicho ahorro consiste en recopilar todas las facturas eléctricas correspondientes al último año de la explotación y considerar ese costo como el ahorro potencial en términos energéticos. El ahorro anual por autoconsumo es de 8268,59 €.

	Consumo medio (kWh/día)	Consumo mensual (kWh)	Factura energía
oct-22	5,43	168,33	582,89 €
nov-22	90,63	2718,90	857,67 €
dic-22	86,90	2693,90	993,93 €
ene-23	118,77	3681,87	822,51 €
feb-23	169,61	4749,08	1.398,05 €
mar-23	117,00	3627,00	936,01 €
abr-23	77,97	2339,10	580,91 €
may-23	27,29	845,99	397,24 €
jun-23	17,28	518,40	251,53 €
jul-23	51,25	1588,75	874,30 €
ago-23	54,74	1696,94	573,55 €

Tabla 30: Facturas eléctricas de la explotación en de octubre 2022 a agosto 2023

6.2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO

En este apartado, el objetivo es analizar la viabilidad económica del proyecto mediante la utilización de índices que proporcionen la información necesaria para la toma de decisiones. Los índices clave que se van a utilizar son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PAYBACK). Para realizar estos cálculos, es necesario determinar los flujos de caja netos anuales y los acumulados. En la tabla 31, se ha recopilado la información financiera en un periodo de 25 años.

El ahorro por autoconsumo se considera igual para todos los años, dado que el precio de la energía fluctúa diariamente, con épocas de incremento significativo y otras de disminución. Por otro lado, se incluyen los gastos del proyecto, correspondientes al CAPEX y al OPEX, explicados en el apartado 6.1. Con esta información se calculan los flujos de caja netos anuales, así como los acumulados, lo que permite determinar a partir de qué año se recupera la inversión inicial. Se puede observar que la inversión se recupera en el año 8 con flujo de caja positivo, aunque cabe destacar que en el año 7 es una cantidad negativa moderada, un resultado que se visualiza claramente en la gráfica presentada en la Figura 30. En esta gráfica, se ve claramente que la tendencia del flujo de caja que aumenta sufre una caída en el año 15 que se debe al reemplazo de ciertos equipos del sistema.

Año	Ahorro autoconsumo	CAPEX	OPEX	Amortización	Flujo de caja	Acumulado
0		-52.484,42 €			- 52.484,42 €	- 52.484,42 €
1	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 45.014,47 €
2	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 37.544,52 €
3	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 30.074,57 €
4	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 22.604,62 €
5	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 15.134,67 €
6	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 7.664,72 €
7	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	- 194,77 €
8	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	7.275,18 €
9	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	14.745,13 €
10	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	22.215,08 €
11	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	29.685,03 €
12	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	37.154,98 €
13	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	44.624,93 €
14	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	52.094,88 €
15	8.268,59 €	-26.773,03 €	-798,64 €	-645,65 €	- 19.303,08 €	32.791,80 €
16	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	40.261,75 €
17	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	47.731,70 €
18	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	55.201,65 €
19	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	62.671,60 €
20	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	70.141,55 €
21	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	77.611,50 €
22	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	85.081,45 €
23	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	92.551,40 €
24	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	100.021,35 €
25	8.268,59 €		-798,64 €	-2.373,83 €	7.469,95 €	107.491,30 €

Tabla 31: Resultado económicos anuales

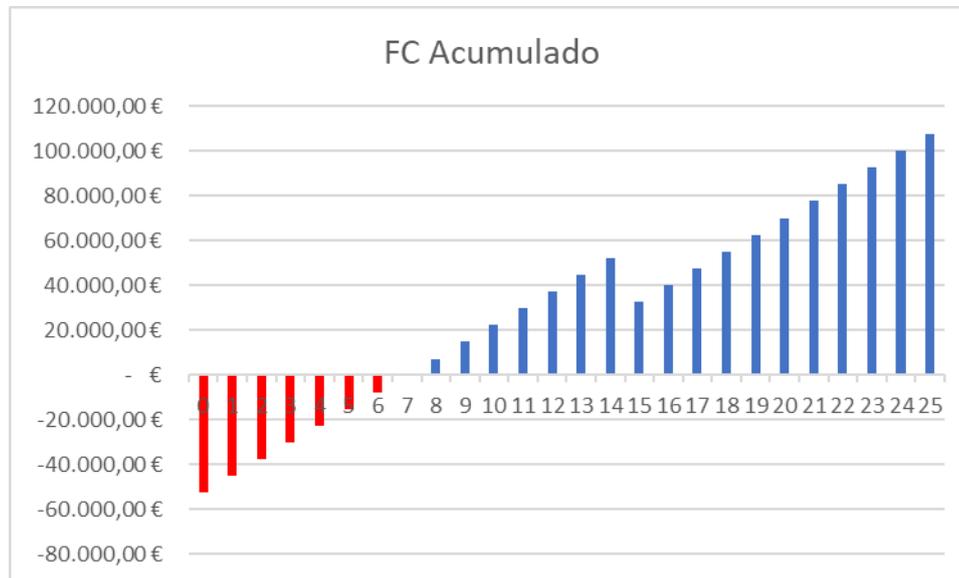


Figura 30: FC acumulado en un periodo de 25 años

A continuación, se explicará los conceptos que representan los indicadores financieros del VAN y el TIR [25], así como sus fórmulas matemáticas.

Comenzando por el Valor Actual Neto, VAN, es un indicador financiero que permite determinar si un proyecto es viable y rentable en un periodo de tiempo determinado. Se calcula teniendo en cuenta el flujo de caja anual menos la inversión inicial, como se puede observar en la Ecuación 1. Asimismo, el parámetro "k" denota la tasa de interés, la cual representa la rentabilidad mínima buscada para la inversión. Si el VAN es positivo significa que la inversión es rentable. El VAN tiene por unidad el valor monetario, en nuestro caso como el proyecto se encuentra en España se calcula en euros.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Ecuación 1: Cálculo del VAN

Continuamos con la Tasa Interna de Retorno (TIR), es otro indicador que al igual que el VAN permite valorar la viabilidad de un proyecto. En concreto el TIR representa el valor de la tasa de descuento por el cual el VAN es igual a cero. Se calcula con la fórmula que se muestra en la Ecuación 2. El resultado que ofrece el TIR es en porcentaje, representando el valor relativo de la rentabilidad del proyecto.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación 2: Cálculo del TIR

Tanto en la tabla 33 como en la figura 31, se analiza cual es la tasa de interés límite para el cual el VAN permanezca positivo. Observando los resultados obtenidos, se concluye que el límite de la tasa de interés es del 12%.

Tasa	VAN
0%	107.491,30 €
1%	88.966,52 €
2%	73.462,07 €
3%	60.406,33 €
4%	49.345,62 €
5%	39.918,36 €
6%	31.835,16 €
7%	24.863,49 €
8%	18.815,65 €
9%	13.539,54 €
10%	8.911,37 €
11%	4.829,91 €
12%	1.212,11 €
13%	-2.010,56 €
14%	-4.894,80 €
15%	-7.487,81 €
16%	-9.828,98 €
17%	-11.951,39 €
18%	-13.882,88 €
19%	-15.647,05 €
20%	-17.263,91 €
21%	-18.750,57 €
22%	-20.121,68 €
23%	-21.389,85 €
24%	-22.565,97 €
25%	-23.659,49 €

Tabla 32: Tasa de descuentos y VAN

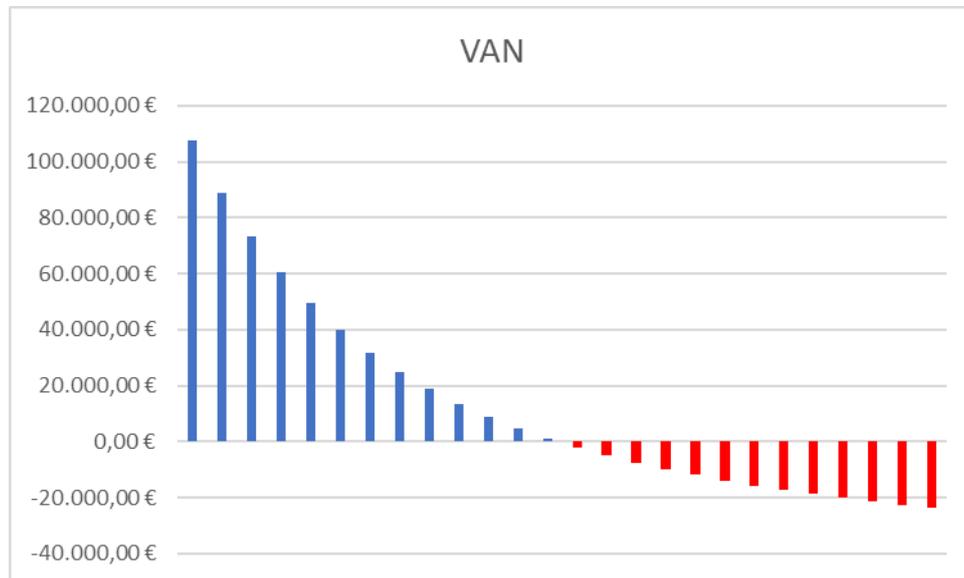


Figura 31: VAN del proyecto según tasas de descuento

En la tabla 33, se recogen los resultados del VAN, el TIR y el PAYBACK de este proyecto. El VAN calculado corresponde a una tasa de interés del 12%, ya que es el valor límite que hace que el proyecto sea rentable. El PAYBACK es de 7,03 años, es decir prácticamente 7 años.

VAN	1.212,11 €
TIR	12,36%
PAYBACK	7,03

Tabla 33: VAN, TIR, y PAYBACK del proyecto en un periodo de 25 años

Capítulo 7. CONCLUSIONES

Este proyecto consiste en conseguir la autosuficiencia energética de una explotación agrícola en Extremadura a través de fuentes sostenibles. En concreto, los objetivos incluyen garantizar un suministro de energía sostenible, evaluar la viabilidad del proyecto y fomentar la autonomía energética en caso de éxito.

El principal reto ha sido lograr que esta explotación con un elevado consumo energético sea un sistema fotovoltaico completamente aislado de la red eléctrica. Para abordar el dimensionamiento de la explotación, se ha optado por una solución que ha consistido en dividir el sistema en tres instalaciones diferenciadas según los patrones de consumo de estas, así como de su ubicación en la explotación. Al realizar la división se ha conseguido ahorrar en material, así como aumentar la fiabilidad de las instalaciones.

El sistema fotovoltaico aislado típico se compone principalmente de baterías como sistemas de almacenamiento. No obstante, para garantizar el suministro se ha optado por un sistema aislado híbrido, donde cada instalación cuenta con un grupo electrógeno de respaldo. El diseño se ha realizado de tal manera que las baterías sean suficientes para garantizar la seguridad del suministro en momentos en los que las placas solares no sean capaces de generar energía. En caso de mal funcionamiento de las baterías o de una acumulación insuficiente de energía, los generadores eléctricos entran en funcionamiento para asegurar el suministro. Con este diseño, se responde al objetivo de alcanzar la autosuficiencia energética. En cuanto al objetivo de suministro de energía sostenible, se puede afirmar que también se ha logrado, ya que, a pesar de la presencia de grupos electrógenos que emiten gases de efecto invernadero, su uso más puntual contribuye a equilibrar la balanza en relación con la sostenibilidad del suministro de energía. En consecuencia, la explotación ha evolucionado, pasando a ser un punto de autoconsumo sostenible.

Tras completar el diseño, era necesario valorar la viabilidad económica del proyecto. Asumiendo ciertas hipótesis en cuanto al ahorro y el mantenimiento de la instalación a lo largo de un periodo de 25 años, se llevó a cabo un análisis del proyecto utilizando los flujos de caja y los indicadores financieros del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Al examinar los flujos de caja, se ha determinado que la inversión se recupera en un periodo de 8 años. Por otro lado, se ha obtenido que el proyecto es rentable hasta una tasa de descuento del 12%, más allá de ese porcentaje el VAN resulta negativo por lo que no se recomendaría llevar a cabo la inversión. Con estos resultados, se concluye que el proyecto se considera viable a largo plazo, respondiendo al objetivo de la evaluación de la viabilidad de este.

En términos de energías renovables, así como de sistemas de almacenamiento de energía, seguimos en pleno siglo de desarrollo. Aunque hemos presenciado un notable incremento en la adopción de sistemas de autoconsumo fotovoltaico aislado, aún queda un trayecto por recorrer. Este proyecto contribuye a la búsqueda del equilibrio entre la sostenibilidad y los beneficios para el consumidor. Sin embargo, no deja de ser una inversión importante que los propietarios deben analizar antes de tomar cualquier decisión.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] La demanda de energía eléctrica de España desciende un 5,7% en junio. (2023, April 7). Red Eléctrica. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/07/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-desciende-un-5-7-en-junio-2023>
- [2] Como funciona una celda solar - MR WATT Shop. (n.d.-b). MR WATT Shop. <https://www.mrwatt.eu/es/content/come-funziona-una-cella-solare>
- [3] Mario. (2023). ¿Por qué hay desabastecimiento de materiales en fotovoltaica? Solarix. <https://www.solarix.es/blog/desabastecimiento-materiales-fotovoltaica/#:~:text=Escasez%20de%20silicio%20policristalino,poblaci%C3%B3n%20entre%20regiones%20de%20China.>
- [4] Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. (2002). Energía Solar Fotovoltaica. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.
- [5] Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). (s.f.). Energía solar: estado actual y perspectiva inmediata. Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI y Universidad Pontificia de Comillas.
- [6] HelioEsfera. (2020, August 19). Irradiancia, irradiación y radiación solar - HelioEsfera. HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar/>
- [7] Salinero, J. C. (2022). Rendimiento de placas solares: ¿Qué influye? Smart Spain. <https://smartspain.es/factores-rendimiento-placas-solares/>
- [8] Ruiz, A. (2022). La célula solar fotovoltaica: tecnologías y funcionamiento. Esenergía. https://esenergia.es/celulas-solares-tercera-generacion/#google_vignette
- [9] ¿Qué es un regulador de carga? | Blog AutoSolar. (n.d.). <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga>
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (s.f.). *Consumos del Sector Residencial en España*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- [11] Selectra. (2023, 14 agosto). Autoconsumo solar: ahorra con las placas solares. *Selectra*. <https://selectra.es/autoconsumo>
- [12] Hilcu, M. (2023). Autoconsumo solar fotovoltaico: guía completa. Otovo Blog. <https://www.otovo.es/blog/autoconsumo/autoconsumo-fotovoltaico-todo-lo-que-tenes-que-saber/>
- [13] Unef. (s. f.). Autoconsumo | UNEF. UNEF. <https://www.unef.es/es/autoconsumo>
- [14] Selectra. (2023b, agosto 30). Normativa para la instalación de placas solares en 2023. *Selectra*. <https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa>

- [15] Diario Oficial de Extremadura (DOE) n.º 144 27-julio-2023. (s.f.). *INSTRUCCIÓN 03/2023, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, sobre tramitación de instalaciones de autoconsumo en la Comunidad Autónoma de Extremadura.*
- [16] Aliseda Climate, *Weather By Month, Average Temperature (Spain) - Weather Spark.* (n.d.). Weather Spark. <https://weatherspark.com/y/33415/Average-Weather-in-Aliseda-Spain-Year-Round>
- [17] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.* (2016, January 11). https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html
- [18] ¿COMO CALCULAR LA POTENCIA DEL GENERADOR DE APOYO PARA MI INSTALACION SOLAR? (n.d.). <https://gruposbravo.com/module/psblog/module-psblog-blog?id=49>
- [19] Alonso, J. A. (2023, September 22). Cálculo sección de cable para paneles solares. SunFields Empresa De Placas Y Equipos Solares. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/>
- [20] Top Cable. (2023, November 22). Cable solar TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K TÜV | Top Cable. https://www.topcable.com/es/cables-de-baja-tension/cables-solares/topsolar-pv-zz-f-h1z2z2-k/?utm_source=post&utm_medium=link&utm_campaign=Blog
- [21] Afumex Class 1000V (AS) | RZ1-K (AS) | Cca-s1b,d1,a1 | Prysmian Group. (n.d.). Prysmian España. <https://es.prysmiangroup.com/centro-de-productos/construction-and-infrastructures/Prysmian-Afumex-Class-1000V-AS-RZ1-K-Cca-s1b-d1-a1>
- [22] ¿Qué tipo de protecciones se recomienda en un sistema solar? - Atersa Shop. (n.d.). <https://atersa.shop/que-tipo-de-protecciones-se-recomienda-en-un-sistema-solar/>
- [23] MyABCM. (2022, March 31). Descubra las Diferencias Entre CAPEX y OPEX - MyABCM. MyABCM. <https://myabcm.com/es/descubra-las-diferencias-entre-capex-y-opex/>
- [24] Precio de la tarifa de luz por horas HOY | 18 Diciembre 2023. (n.d.). <https://tarifaluzhora.es/>
- [25] S, J. (2022, September 26). Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos. Economía3. <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>