



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Plan de autoconsumo energético de una PYME

Autor: Tomás Millán Sánchez

Director: García de Garmendia, Antonio

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Plan de autoconsumo energético de una PYME

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/25 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.

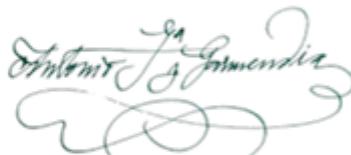


Fdo.: Tomás Millán Sánchez

Fecha: 20/01/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Antonio García de Garmendia

Fecha: 22-01-2025



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Plan de autoconsumo energético de una PYME

Autor: Tomás Millán Sánchez

Director: García de Garmendia, Antonio

Madrid

Agradecimientos

Este proyecto de fin de carrera ha sido posible gracias al apoyo y la guía de muchas personas a quienes me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento. En primer lugar, quiero agradecer a Antonio, mi director de TFG, por su valiosa orientación y acompañamiento a lo largo de todo este proceso. En segundo lugar, un agradecimiento especial a Ade y Remigio, cuya colaboración fue fundamental para recopilar la información necesaria que hizo posible este trabajo. En tercer lugar, también quiero reconocer a mis profesores, en especial a Manuel y Félix, por su dedicación y enseñanzas a lo largo de estos años. Y a Luis con su ayuda y apoyo durante tercero. En cuarto lugar, a mis amigos, con mención especial a Pablo, mi fiel compañero durante toda la carrera, quienes han sido un pilar en mi trayectoria académica y personal, logrando juntos superar los retos de ICAI curso a curso. Borja, Gabi, Laura, Pedro, Martin y muchos amigos más de la escuela. Así como los amigos de la vida como los Santis, Tristán o Guille. Y muchos más. Gracias. En quinto lugar, a mi familia, especialmente a mi madre, quien ha sido un ejemplo de dedicación y excelencia como ingeniero, les debo gran parte de mi motivación y perseverancia. En sexto lugar, quiero expresar mi gratitud a mi novia, Pilar, quien me brindó el aliento y la motivación necesarios durante el último y más exigente año de carrera, un periodo en el que logré completar un año y medio en tan solo uno. Sin su apoyo y amor, este éxito no habría sido posible. Por último, a Dios. Gracias.

Gracias a todos, este proyecto no solo es un resultado académico, sino también un reflejo de todo el respaldo y esfuerzo compartido que he recibido.

Plan de autoconsumo energético de una PYME

Autor: Millán Sánchez, Tomás.

Director: García de Garmendia, Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

Empresa Colaboradora: GREENVOLT

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto se basará en la implementación de placas solares de autoconsumo en una PYME localizada en Almería con el objetivo de reducir su consumo energético. Se analizará el impacto de dichas soluciones tanto a nivel económico como medioambiental. Se detallará el consumo de dicha empresa y el presupuesto de la planta. De igual forma: el proyecto de ingeniería, la curva de carga y la normativa de aplicación.

Palabras clave: Energía renovable, autoconsumo, energía solar fotovoltaica, sostenibilidad, PYMEs, normativa, eficiencia energética, ahorro de energía.

1. Introducción

Actualmente, uno de los pilares fundamentales de la actividad humana es la energía eléctrica. El consumo energético es una parte fundamental del sector industrial. El consumo energético es un coste significativo para grandes industrias. Como cualquier otro coste, se busca reducirlo para mantener niveles altos de competitividad y producción.

De manera histórica, el consumo energético se ha asociado a la explotación de recursos no renovables. El carbón, gas natural y petróleo son recursos limitados y con un gran impacto medioambiental. La transición hacia fuentes renovables e ilimitadas se ha convertido en una prioridad para países como España. La existencia del mix energético es una realidad contrastada. No obstante, estos avances e innovaciones no son suficientes para eliminar la dependencia de las energías no renovables. Este reto supone incrementar el uso de la energía solar, entre otras, para aumentar la independencia energética y además decrementar la huella de carbono.

En este contexto, el presente trabajo se centrará en el análisis de una solución para una PYME con placas de autoconsumo para abaratar costes y reducir así el consumo de la energía convencional. El objetivo será evaluar el ahorro energético y ambientales de la propuesta, así como un desglose del proyecto de ingeniería como los factores comerciales, regulatorios y técnicos que intervienen en la implementación del proyecto.

Esta investigación se apoyará en la normativa de autoconsumo y con el compromiso de España como país hacia un futuro mejor y más eficiente. Se busca encontrar una visión práctica y adaptable a PYMEs españolas.

2. Definición del proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo abaratar costes de una PYME con una instalación de autoconsumo. Esto incluye:

- Contexto histórico de las energías renovables y presencia a nivel mundial, europeo y nacional.
- Énfasis en la energía fotovoltaica y los elementos de una planta.
- Proyecto para la PYME
 - Análisis de la demanda de la PYME
 - Diseño de la planta
 - Evaluación económica
 - Cumplimiento normativo

Gracias a la instalación de la red se dependerá en un 25% menos de la red eléctrica española.

3. Descripción de la instalación fotovoltaica

La planta fotovoltaica propuesta presenta los siguientes componentes:

- Paneles solares: Serán los encargados de transformar la radiación solar en electricidad.
- Inversores: elemento encargado de convertir la corriente continua en alterna para su posterior uso.
- Sistema de monitorización: permite evaluar el rendimiento de la planta y redactar incidencias.
- Protecciones: aseguran el correcto funcionamiento y seguridad de la instalación con la cumplimentación de la normativa.

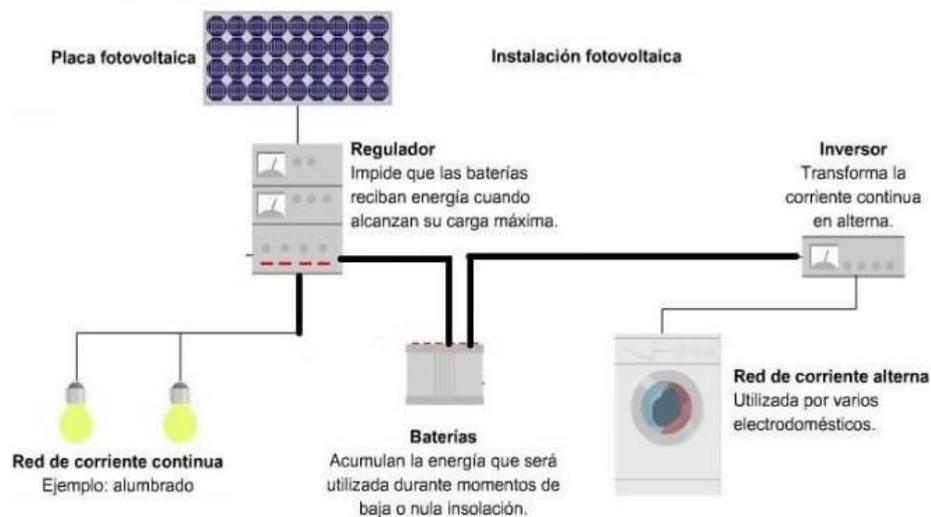


Ilustración 1. Partes de una instalación fotovoltaica. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

Se ha utilizado el PVSYST para el diseño de la instalación fotovoltaica. Se utilizan placas solares de la marca LONGI, modelo: LR5-72HPH-555M y potencia 555 Wp e inversores de la marca HUAWEI, utilizando 5 inversores modelo SUN2000-100KTL-M2.

Asimismo se tendrá una inclinación para unas placas fijas sería igual a la latitud del lugar puesto con esta inclinación se maximizaría la producción con un ángulo de 36,8°. Y con un azimut de 0° totalmente hacia el sur, puesto nuestra nave está orientada hacia el sur. Albedo de 0,2 para zonas industriales atendiendo normativa IEC. Extrayendo de los datos del informe PVSYST. la producción normalizada de nuestra planta y los PR quedan así:

Ilustración 2. Informe de PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

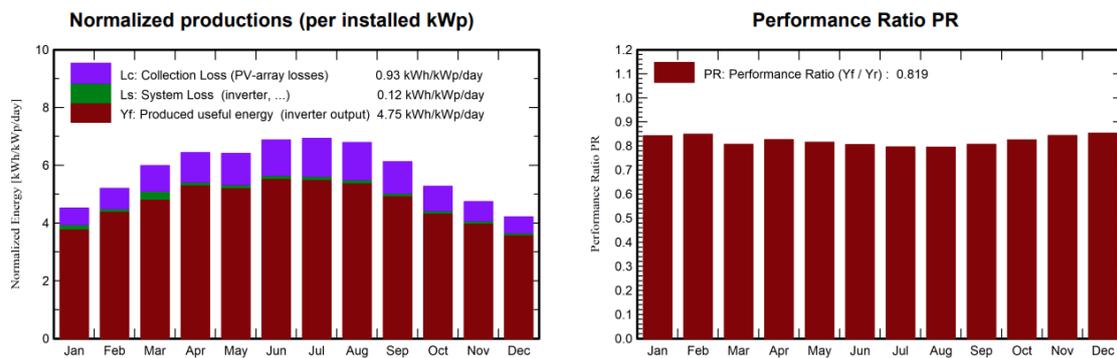


Tabla 1. Características de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia, 2024

Asimismo, se adjuntan los datos principales de nuestra instalación diseñada para la PYME localizada en Almería para reducir su consumo energético:

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	
FV Potencia Pico Instalada	507 kWp
N.º de Módulos	913
Módulos Fotovoltaicos	LONGI, LR5-72HPH-555M
Potencia Nominal	500.000 Wn
N.º Inversores	5
Inversor	SUN2000-100KTL-M2

4. Resultados

En primer lugar, se realizará un ahorro energético y reducción de dependencia de la red eléctrica española, incorporando un sistema de monitoreo para una generación eficiente de energía. Gracias a la instalación de las placas la PYME auto consumirá de sus 3434800kWh/anuales de demanda un total de 866034,16 kWh anuales. Suponiendo un ahorro del 25%.

En segundo lugar, se proporciona un presupuesto de la instalación total incluyendo un presupuesto para el coste del proyecto.

Tabla 2. Presupuesto del proyecto. Fuente: elaboración propia con asistencia de Greenvolt,2024

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	
Presupuesto de Ejecución Material	185.417,29 €
Beneficio Industrial	22.250,07 €
Gastos Generales	24.175,11 €
Gastos Externos	16.116,74 €
Presupuesto de la Contrata	247.959,21 €
IVA (21%)	52.071,43 €
TOTAL PRESUPUESTO	300.030,64 €

En tercer lugar, se concluye reafirmando el ahorro energético de la nave, de un 25%. Así como la creación de empleo local con la instalación fotovoltaica o la mejora de la imagen de la empresa con su compromiso con la sostenibilidad con el medioambiente.

5. Conclusiones

Con este proyecto se consigue garantizar sostenibilidad económica para una PYME española. Este proyecto no solo contribuye al ahorro energético de la empresa, sino que significa un ejemplo para otras empresas que quieran replicar este proyecto. Así como una posible solución a la independencia energética.

El apoyo de Greenvolt en este proyecto y el marco normativo vigente son factores clave para la viabilidad de este proyecto y su éxito hacia un futuro más sostenible.

6. Referencias

[1] Greenvolt Next. “Soluciones de Energía Renovable”. c. 2024.

<https://next.greenvolt.com/es/>

[2] Iberdrola. “¿Qué es la energía solar fotovoltaica?”. Sostenibilidad. c. 2024

<https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-solar-fotovoltaica/historia-energia-solar>

[3] Observatorio Estratégico del Autoconsumo Fotovoltaico (2022). Datos sobre energía solar en España. <https://www.appa.es/wp-content/uploads/2023/02/Informe-Anual-Autoconsumo-Fotovoltaico-2022.pdf>

.

PLAN FOR ENERGY SELF-CONSUMPTION IN AN SME

Author: Millán Sánchez, Tomás.

Supervisor: García de Garmendia, Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

Collaborating Company: GREENVOLT

ABSTRACT

The project will be based on the implementation of self-consumption solar panels in an SME located in Almeria in order to reduce its energy consumption. The impact of these solutions will be analyzed both economically and environmentally. The consumption of this company and the budget of the plant will be detailed. Also: the engineering project, the load curve and the applicable regulations.

Keywords: Renewable energy, self-consumption, photovoltaic solar energy, sustainability, SMEs, regulations, energy efficiency, energy cost savings

1. Introduction

Currently, one of the fundamental pillars of human activity is electrical energy. Energy consumption is a fundamental part of the industrial sector. Energy consumption is a significant cost for large industries. Like any other cost, they seek to reduce it in order to maintain high levels of competitiveness and production.

Historically, energy consumption has been associated with the exploitation of non-renewable resources such as coal, natural gas, and oil, which are limited and have a significant environmental impact. The transition to renewable and unlimited energy sources has become a priority for countries like Spain. Although the energy mix is a proven reality, these advances and innovations are not yet sufficient to eliminate dependence on non-renewable energies. This challenge involves increasing the use of solar energy, among others, to enhance energy independence and reduce the carbon footprint.

In this context, the present work will focus on the analysis of a solution for an SME with self-consumption panels to reduce costs and thus reduce conventional energy consumption. The objective will be to evaluate the energy and environmental savings of the proposal, as well as the breakdown of the engineering project and the commercial, regulatory and technical factors involved in the implementation of the project.

This research will be supported by the self-consumption regulations and Spain's commitment as a country towards a better and more efficient future. The objective is to find a practical and adaptable vision for Spanish SMEs.

2. Project definition

The present project aims to lower costs for an SME with a self-consumption installation. This includes:

- Historical context of renewable energies and presence at global, European and national level.

- Emphasis on photovoltaic energy and the elements of a plant.

- SME Project

o SME demand analysis

o Plant design

o Economic evaluation

o Regulatory compliance

Thanks to the installation of the grid, 25% less reliance will be placed on the Spanish electricity grid.

3. Description of the Photovoltaic Installation

The proposed photovoltaic plant includes the following components:

- Solar panels: Responsible for converting solar radiation into electricity.
- Inverters: Convert direct current (DC) into alternating current (AC) for subsequent use.
- Monitoring system: Allows for real-time performance evaluation and incident reporting.
- Protections: Ensure the correct operation and safety of the installation while complying with regulations.

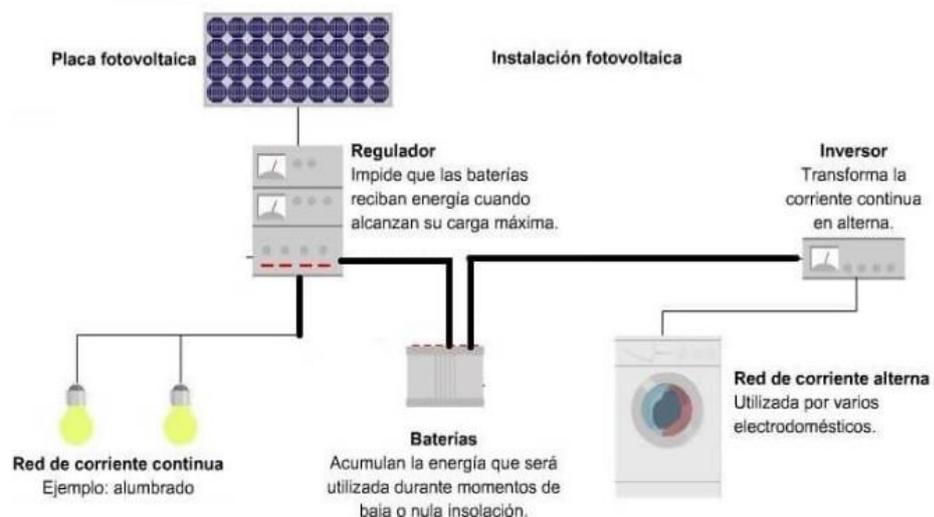


Illustration 3. Parts of a photovoltaic system. Source: Área Tecnología, c. 2024.

PVSYST has been used for the design of the photovoltaic installation. LONGI solar panels are used, model: LR5-72HPH-555M and power 555 Wp and HUAWEI inverters, using 5 inverters model SUN2000-100KTL-M2.

Likewise, the inclination for fixed plates will be equal to the latitude of the site, since this inclination will maximize the production with an angle of 36.8°. And with an azimuth of 0° totally to the south, since our ship is oriented to the south. Albedo of 0.2 for industrial areas according to IEC standards. Extracting from the PVSYST. report data, the normalized production of our plant and the PR are as follows:

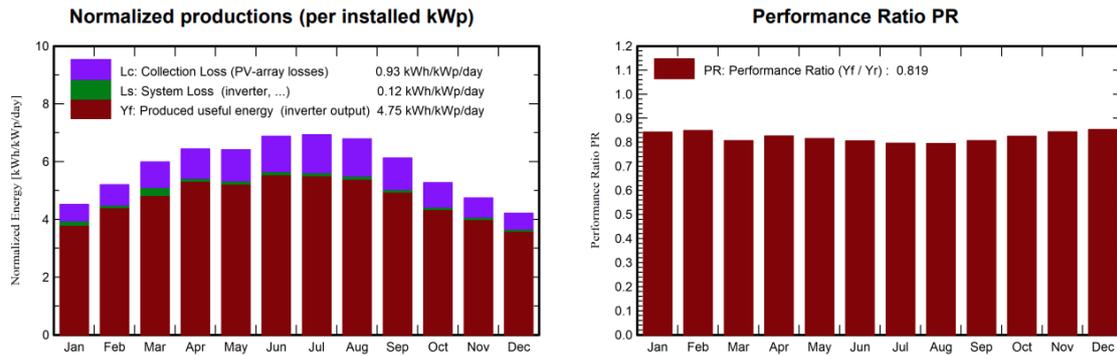


Ilustración 4. PVSYST Report. Source: own elaboration. 2024

Also attached are the main data of our installation designed for the SME located in Almeria to reduce its energy consumption:

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	
FV Potencia Pico Instalada	507 kWp
N.º de Módulos	913
Módulos Fotovoltaicos	LONGI, LR5-72HPH-555M
Potencia Nominal	500.000 Wn
N.º Inversores	5
Inversor	SUN2000-100KTL-M2

4. Results

First, energy savings will be achieved and dependence on the Spanish electricity grid will be reduced by incorporating a monitoring system for efficient energy generation. Thanks to the installation of the panels, the SME will self-consume a total of

86,634,800 kWh/year of its annual demand of 86,634,344.16 kWh. Assuming a saving of 25%.

Secondly, an estimate of the total installation is provided including an estimate for the cost of the project.

Tabla 3. Project budget. Source: Prepared by the company with assistance from Greenvolt, 2024.

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	
Presupuesto de Ejecución Material	185.417,29 €
Beneficio Industrial	22.250,07 €
Gastos Generales	24.175,11 €
Gastos Externos	16.116,74 €
Presupuesto de la Contrata	247.959,21 €
IVA (21%)	52.071,43 €
TOTAL PRESUPUESTO	300.030,64 €

Thirdly, it concludes by reaffirming the energy savings of the building, 25%. As well as the creation of local employment with the photovoltaic installation and the improvement of the company's image with its commitment to environmental sustainability.

5. Conclusions

This project ensures economic sustainability for a Spanish SME. It not only contributes to the company's economy but also serves as an example for other businesses looking to replicate this initiative. Additionally, it provides a potential solution for energy independence.

The support of Greenvolt in this project, along with the current regulatory framework, are key factors for the viability and success of this initiative toward a more sustainable future.

6. References

- [1] Greenvolt Next. "Soluciones de Energía Renovable". c. 2024.
<https://next.greenvolt.com/es/>
- [2] Iberdrola. "¿Qué es la energía solar fotovoltaica?". Sostenibilidad. c. 2024
<https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-solar-fotovoltaica/historia-energia-solar>
- [3] Observatorio Estratégico del Autoconsumo Fotovoltaico (2022). Datos sobre energía solar en España. <https://www.appa.es/wp-content/uploads/2023/02/Informe-Anual-Autoconsumo-Fotovoltaico-2022.pdf>

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
<i>Índice de ilustraciones</i>	<i>IV</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>VII</i>
<i>Capítulo 1. Introducción</i>	<i>8</i>
1.1 Estado del arte	8
1.2 Motivación	10
1.3 Objetivos del proyecto.....	12
1.4 Metodología de Trabajo	14
1.5 Recursos Empleados.....	15
<i>Capítulo 2. Energía Solar</i>	<i>18</i>
2.1 Energías Renovables	18
2.2 Energía Solar Fotovoltaica	26
2.3 Historia de la Energía Solar Fotovoltaica.....	27
2.4 Fotovoltaica en hogares.....	29
2.5 Energía solar en el mundo	30
2.6 Energía solar en Europa y España.....	35
2.7 Empresas Energéticas Españolas.....	41
2.8 Greenvolt.....	43
2.8.1 Ventajas, Desafía y Consideraciones	44
<i>Capítulo 3. Elementos y Equipos de una Planta Fotovoltaica</i>	<i>46</i>
3.1 Componentes de un sistema fotovoltaico	47
3.1.1 Paneles Solares	48
3.1.2 Regulador de Carga	57
3.1.3 Inversores	62

3.1.4	Sistemas de Almacenamiento.....	65
3.2	Tipos de Instalaciones Fotovoltaicas.....	71
Capítulo 4. Proyecto fotovoltaico para una pyme		73
4.1	Características de la PYME.....	74
4.1.1	Demanda energética de nuestra PYME.....	75
4.1.2	Características de la instalación de autoconsumo.....	84
4.1.3	Normativa y reglamentación.....	85
4.2	Descripción de la instalación fotovoltaica.....	89
4.2.1	Diseño.....	89
4.2.2	Espacio de la cubierta de la nave utilizada.....	96
4.2.3	Análisis de la demanda con la producción de la planta.....	96
4.2.4	Módulos Fotovoltaicos	103
4.2.5	Inversores de red.....	113
4.2.6	Pérdidas.....	117
4.2.7	Sistema de monitorización.....	122
4.2.8	Sistemas de medida.....	124
4.2.9	Conclusión.....	125
Capítulo 5. Coste de la instalación.....		126
5.1	Presupuesto de la instalación.....	127
5.1.1	Módulos fotovoltaicos	127
5.1.2	Estructura y soportes.....	128
5.1.3	Inversores y monitorización	128
5.1.4	Cuadros y material eléctrico	129
5.1.5	Cableado	129
5.1.6	Canalización.....	129
5.2	seguridad y salud.....	130
5.2.1	Protecciones individuales.....	130
5.2.2	Protecciones colectivas	130
5.2.3	Primeros auxilios y medicina preventiva	130
5.3	Beneficio industrial	130
5.4	Gastos generales	131

5.5 Gastos externos.....	131
5.6 Resumen del proyecto	132
5.7 Duración estimada por fases.....	133
Capítulo 6. Conclusiones.....	135
Capítulo 7. Bibliografía.....	140
ANEXO I	144
ANEXO II	153
ANEXO III	159
ANEXO IV	164
ODS	176

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Partes de una instalación fotovoltaica. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.....	8
Ilustración 2. Informe de PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024.....	9
Ilustration 4. Parts of a photovoltaic system. Source: Área Tecnología, c. 2024.....	13
Ilustración 5. PVSYST Report. Source: own elaboration. 2024	14
Ilustración 7. Diagrama de Gantt. Elaboración propia con asistencia de IA (2024)	17
Ilustración 8. Introducción ilustrada. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	19
Ilustración 9. Energías renovables. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	20
Ilustración 10. Energía solar. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	21
Ilustración 11. Energía eólica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	22
Ilustración 12. Energía hidráulica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	23
Ilustración 13. Energía geotérmica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	24
Ilustración 14. Energía solar fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	26
Ilustración 15. Historia de la energía fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	27
Ilustración 16. Partes de un panel solar. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.....	49
Ilustración 17. Diodos de derivación en paneles solares. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	51
Ilustración 18. Curva I-V. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	53
Ilustración 19. Gráfica paneles solares 1. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	53
Ilustración 20. Gráfica paneles solares 2. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	54
Ilustración 21. Explicación serie. Fuente: Elaboración propia, 2024.....	55

Ilustración 22. Explicación paralela. Fuente: Elaboración propia, 2024.	55
Ilustración 23. Tipos de paneles solares. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	56
Ilustración 24. Partes de una instalación fotovoltaica. Fuente: Área Tecnología, c. 2024..	57
Ilustración 25. Conexión de un regulador. Fuente: Elaboración propia, 2024.	58
Ilustración 26. Tipos de reguladores. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	60
Ilustración 27. Conexión de reguladores. Fuente: Elaboración propia, 2024.	60
Ilustración 28. Partes de una batería. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	65
Ilustración 29. Conexión de baterías. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.	67
Ilustración 30. Energía geotérmica. Fuente: Tipos de plantas fotovoltaicas. Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	72
Ilustración 31. Localización de la nave. Fuente: GoogleMaps. C. 2024.	74
Ilustración 32. Curva de demanda PYME. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	75
Ilustración 33. Distribución de la energía consumida por la PYME. Fuente: Elaboración propia, 2024.	77
Ilustración 34. Índice de claridad de Almería. Fuente: PVSYST, elaboración propia. 2024.	83
Ilustración 35. Ejemplo de producción de las placas con un ángulo fijo. Fuente: Comisión europea, herramientas interactivas. c. 2024.	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 36. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	90
Ilustración 37. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	91
Ilustración 38. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	92
Ilustración 39. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	93
Ilustración 40. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	95
Ilustración 41. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	96
Ilustración 42. Producción ajustada. Fuente: elaboración propia. 2024	98
Ilustración 43. Informe PVGIS I. Fuente: Comisión europea, 2024	99
Ilustración 44. Informe PVGIS II. Fuente: Comisión europea, 2024.	100

Ilustración 45. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	100
Ilustración 46. Comparación del consumo actual de dos años consecutivos. Fuente: Greenvolt. 2024	101
Ilustración 47. Comparación producción solar - demanda. Fuente: elaboración propia, 2024	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 48. Datos modulo solar. Fuente: Greenvolt. 2024.....	103
Ilustración 49. Datos modulo solar. Fuente: Greenvolt. 2024.....	104
Ilustración 50. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	104
Ilustración 51. Trayectoria solar en Almería. Fuente: PVSYST. c. 2024	109
Ilustración 52. HUAWEI SUN2000-100KTL-M2 AFCI. Fuente: BayWa r.e. c.2024.....	113
Ilustración 53. Datos inversores. Fuente: Greenvolt. 2024	115
Ilustración 54. Datos inversores. Fuente: Greenvolt. 2024	116
Ilustración 55. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024	116
Ilustración 56. Diagrama de estados del subsistema de adquisición. Fuente: elaboración propia. 2024	122
Ilustración 57. Diagrama de estados del subsistema de comunicación. Fuente: elaboración propia. 2024	123
Ilustración 58. Diagrama de estados del subsistema de procesamiento de datos. Fuente: elaboración propia. 2024	123

Índice de tablas

Tabla 1. Características de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia, 2024....	9
Tabla 2. Presupuesto del proyecto. Fuente: elaboración propia con asistencia de Greenvolt,2024	10
Tabla 3. Project budget. Source: Prepared by the company with assistance from Greenvolt, 2024.	15
Tabla 4. Principales energéticas en España [19]. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.	41
Tabla 5. Parámetros de la instalación. Fuente: elaboración propia. 2024	84
Tabla 6. Características de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia. 2024..	89
Tabla 7. Producción por nuestra planta. Fuente: elaboración propia. 2024	97
Tabla 8. Consumo anual. Fuente: greenvolt. 2024.....	101
Tabla 9. Resumen del presupuesto. Fuente: Elaboración propia con asistencia de Greenvolt. 2024	132

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

“Diseñamos instalaciones de autoconsumo solar con el objetivo de ofrecer a nuestros clientes una alternativa viable, segura y personalizada para que puedan generar y consumir su propia energía limpia. Los acompañamos en todo el proceso desde el diseño de la instalación hasta la puesta en marcha.”, esto propone GREENVOLT, empresa colaboradora con este trabajo.

El objetivo de GREENVOLT es contribuir a que las pequeñas y medianas empresas tengan una fuente alternativa de energía acompañándolos en el proceso completo. Dentro de este marco, este proyecto nace para responder las necesidades de una PYME concreta que necesita reducir su coste energético instalando placas solares de autoconsumo en el techo de su nave industrial.

Por último, no solo se buscará satisfacer las necesidades de nuestra PYME, sino que también se presenta como un modelo replicable para otras empresas del sector. La adopción de tecnologías sostenibles en el ámbito empresarial es esencial para impulsar proyectos que muestran de manera tangible su compromiso con la sociedad para liderar un cambio hacia un futuro más responsable.

1.1 ESTADO DEL ARTE

La energía solar fotovoltaica es una solución económica y sencilla para reducir costes energéticos. Asimismo, se ayuda a promover la transición hacia un futuro más verde, eliminando la huella de carbono y ayudar a las empresas a mejorar su imagen pública.

Recientemente, las energías renovables generaron más del 56 % de la electricidad en España [1], con un notable incremento en la contribución de la energía fotovoltaica. Este aumento se debe en gran parte por la mejora de las nuevas tecnologías y el perfeccionamiento de los propios paneles solares. El precio de cada placa solar depende

de la potencia instalada y las características de la empresa. Por ejemplo, para una empresa que necesita 10 kW hoy en día puede costar en torno a 10.000 €. [2] Actualmente existen muchas ayudas y formas de financiación para PYMES que facilitan el acceso a estos nuevos recursos sin una inversión inicial significativa. Como se comentaba con anterioridad, las ayudas incluyen normativas vigentes han ido evolucionando con el paso del tiempo para ayudar al emprendedor, en concreto el Real Decreto 244/2019 regula las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. [3]. En 2024 se han ampliado estas ayudas para la instalación de placas solares de autoconsumo incluyendo deducciones de IRPF de hasta un 60% de los costes de instalación, así como reducciones en el IBI del 50% durante periodos entre 2 a 10 años [4]. De la misma forma, esta nueva moda verde no solo ayuda a la transición a un futuro sostenible, sino que también ayuda a lo que de verdad el autónomo busca a corto plazo que es que su negocio siga a flote y siga siendo competitiva frente a su competencia. Uno de los granitos de arena es la reducción de sus costes operativos energéticos con hasta un 70 % de ahorro [5]. Como indicaba previamente se ayuda también a la reducción de emisiones de CO₂, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y responsabilidad social corporativa.

En el presente trabajo se abordará el tema de una manera sencilla y clara como no se ha hecho antes para que sirva de modelo y ejemplo para otras pymes que quieran reducir su coste energético con placas de autoconsumo.

La implementación de placas solares presenta una estrategia frente a la competencia que debe realizarse para mantener la empresa a flote. Asimismo, el gobierno, junto a la innovación en las nuevas tecnologías facilita esta transición hacia energías renovables en la que sale ganando el empresario como la sociedad del presente y del futuro. Dejando claro la posición clave de la pequeña y mediana empresa en España liderando el cambio energético nacional.

Observando varios trabajos de compañeros de carrera he leído temas como el impacto social en la formación de instaladores de placas [6] o la optimización económica y el diseño técnico en industrias específicas [7]. Sin embargo, hay pocos estudios que combinen el impacto económico y medioambiental para PYMES españolas. Aspectos como la curva de carga y demanda y la normativa española quedan por tratar y por ello este trabajo pretende cubrir ese vacío. Se proporcionará un enfoque integral replicable a otras empresas aportando mejoras significativas para la pequeña y mediana empresa española.

1.2 MOTIVACIÓN

La principal motivación de este trabajo es contribuir de manera activa a las PYMES y a la transición hacia un mundo más sostenible mediante el impulso del uso de energías renovables, especialmente a través de sistemas de autoconsumo solar fotovoltaico. Este proyecto representa una oportunidad para profundizar en el conocimiento técnico sobre las instalaciones solares y entender cómo las pequeñas y medianas empresas están adoptando estas tecnologías, reduciendo su impacto ambiental y mejorando su competitividad económica.

Desde una perspectiva personal y profesional, considero este trabajo una herramienta clave para consolidar mis conocimientos en energías renovables, un sector fundamental para el

futuro energético global. Estos aprendizajes no solo me permitirán crecer como ingeniero, sino que también me prepararán para diseñar y ejecutar soluciones innovadoras que puedan aplicarse en contextos reales y concretos.

Asimismo, este proyecto es una oportunidad para poner en práctica las habilidades técnicas adquiridas durante mi formación en Tecnologías Industriales en ICAI, como la planificación estratégica, la gestión eficiente de recursos y el diseño técnico de proyectos de ingeniería. Combinar estas capacidades con el análisis de casos reales fomenta un enfoque práctico y orientado a resultados, beneficiando tanto a la empresa colaboradora como a mi propio desarrollo profesional.

Además, el impacto social de este trabajo es significativo. Ayudar a las empresas españolas a reducir sus costes energéticos y aumentar su eficiencia operativa repercute directamente en la economía nacional. Los empresarios son el motor económico del país, generadores de empleo y sustento para miles de familias. Optimizar sus recursos energéticos mejora sus márgenes de beneficio, lo que les permite reinvertir en su crecimiento, contratar más personal y fortalecer el tejido empresarial.

Por último, este proyecto refleja mi compromiso con un futuro más verde. Más allá de los retos técnicos, ayudar a las PYMEs es una manera de contribuir al bienestar y la prosperidad de nuestro país.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es ayudar a una pequeña y mediana empresa (PYME) a reducir su consumo energético mediante la instalación de una planta solar fotovoltaica para autoconsumo. Este trabajo incluye un análisis global de las energías renovables, con especial énfasis en la energía solar, para diseñar una solución técnica, económica y reglamentaria adaptada a las necesidades particulares de la empresa.

Los objetivos generales que se abordaran en el presente trabajo son los siguientes:

En primer lugar, reducir el consumo energético de la PYME mediante la instalación de placas solares fotovoltaicas en el techo de su nave industrial. De esta forma se reducirá el gasto energético y la dependencia de la nave de la red eléctrica, mejorando la eficiencia operativa de la misma.

En segundo lugar, se estudiarán las energías renovables de manera global para examinar las ventajas de estas como una posible solución sostenible para PYMES.

En tercer lugar, se desarrollará una propuesta integral para la compañía. Se asegurará que el proyecto es dotado de un análisis energético para comprender los patrones de consumo de la nave y la optimización del diseño del sistema. Asimismo, se desarrollará una propuesta comercial, el proyecto de ingeniería y el cumplimiento de la normativa. En definitiva, se incluirán los documentos y material necesario para realizar una implementación de placas solares de autoconsumo para que el proyecto sea replicable para otras PYMES.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

En primer lugar, diseño del sistema fotovoltaico para que el mismo opere de manera eficiente con el espacio disponible y en función de las necesidades del cliente. En segundo lugar,

asegurar el cumplimiento con la normativa vigente para que el proyecto sea seguro y legal. En tercer lugar, se analizará la viabilidad económica y los beneficios que conllevan la instalación de las placas solares. En cuarto lugar, se reducirá el impacto medioambiental y se asegurará que el mismo se ajusta a las nuevas propuestas de la Agenda 2030. En quinto y último lugar, se proporcionará la documentación técnica necesaria para el proyecto.

Los objetivos personales del proyecto son los siguientes:

Se aplicarán conocimientos adquiridos durante la carrera para demostrar mi formación integral en ICAI, incluyendo información técnica y estratégica. Y de igual forma, gestión de proyectos. Asimismo, me ayudara a adquirir experiencia práctica para enfrentar un reto técnico y práctico en el ámbito de las energías verdes. Este proyecto me prepara para mi futuro profesional y para futuras oportunidades de empleo en el mundo de las energías renovables. Igualmente ayuda a contribuir al desarrollo empresarial de España puesto que las pequeñas y medianas empresas (pymes) son fundamentales en la economía española. Según datos recientes extraídos de El País, representan aproximadamente el 65% del Producto Interior Bruto (PIB) de España y generan alrededor del 70% del empleo total. Esta pequeña -pero importante- aportación ayuda a las PYMES a evolucionar hacia un futuro más sostenible y eficiente.

En conclusión, este proyecto busca lograr dos metas. Primero, resolver un problema energético que se nos plantea. Segundo, aspirar a crear un modelo que otras empresas puedan seguir. De este modo, se ayudará a empresas y a la sociedad española a fortalecerse. Pero además se pretende que el sector empresarial español se comprometa con un futuro más sostenible y a cuidar mejor el medio ambiente.

En cuanto a la alineación con los objetivos de desarrollo sostenible:

El proyecto se alinea con los ODS fomentando energía limpia (ODS 7, 13), reducción de costes para PYMEs (ODS 8, 12).

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo del presente trabajo seguirá un enfoque estructurado, dividido en varias fases. El objetivo será garantizar la materialización de los objetivos previamente planteados y la implantación de la planta fotovoltaica. Este proceso incluirá desde la recopilación de los datos por parte de la empresa colaboradora -greenvolt- hasta la elaboración de un documento detallado para el cliente para que sirva de base para la toma de decisiones de la PYME.

FASES DEL PROYECTO

i. **Recopilación de los datos iniciales**

En esta fase se recopilarán los datos proporcionados por GREENVOLT. Se identificará el perfil de carga de la nave industrial y las características del emplazamiento.

ii. **Diseño técnico del sistema fotovoltaico**

Se continuará con el diseño de la instalación de manera ajustada al cliente. Se analizará su curva de consumo y demanda para posteriormente instalar la capacidad necesaria. De igual forma se seleccionarán los componentes necesarios y adecuados para la misma. Se diseñará un esquema unifilar de la misma para determinar el conexionado eléctrico.

iii. **Análisis económico y ambiental**

Se utilizarán herramientas como Excel y simuladores fotovoltaicos (por ejemplo, PVSyst) para estimar el rendimiento energético anual. Asimismo, se analizará el impacto ambiental del proyecto, destacando la reducción de emisiones de CO₂ asociada al uso de energía solar.

iv. Documentación técnica

Aquí se asegurará que los resultados obtenidos, cálculos y esquemas eléctricos sean claros y concisos.

v. Revisión de resultados

Finalmente se revisarán los datos y se alineará con las necesidades y objetivos del cliente.

Este enfoque consecutivo permite que cada fase del proyecto se realice con precisión y precisión técnica, ofreciendo una solución total que maximiza los beneficios económicos y medioambientales para la empresa. Al final del proceso, la PYME dispondrá de un sistema fotovoltaico diseñado a medida que cumple las normas técnicas y reglamentarias aplicables.

1.5 RECURSOS EMPLEADOS

La empresa Greenvolt será una fuente clave de información, proporcionando datos técnicos y comerciales relacionados con el perfil de consumo energético de la PYME, información sobre la superficie disponible para la instalación, especificaciones de los componentes fotovoltaicos propuestos y los requerimientos técnicos y normativos para el diseño de la instalación.

Se utilizarán herramientas de diseño técnico. El diseño técnico de la instalación se llevará a cabo mediante herramientas avanzadas que permitan desarrollar esquemas precisos y detallados:

- AutoCAD: Para la creación de planos eléctricos y diagramas unifilares que reflejen

con exactitud el diseño del sistema.

- Software de diseño estructural: Para verificar la viabilidad de la instalación en función de las características de la cubierta y los soportes.

Los Simuladores de sistemas fotovoltaicos se emplearán como herramientas específicas para modelar el rendimiento de la instalación y realizar simulaciones energéticas:

- PVSyst: Para estimar la generación eléctrica anual en función de las condiciones locales de radiación solar.
- PVGIS: Como apoyo para analizar las condiciones de irradiación y determinar la inclinación óptima de los paneles.

Asimismo, el software de análisis económico y la evaluación económica será un pilar fundamental del proyecto, permitiendo estimar costos, ahorros y retornos de inversión. Para ello se utilizarán:

- Microsoft Excel: Para realizar cálculos detallados del presupuesto, análisis de viabilidad económica y simulaciones de escenarios financieros.
- Herramientas de visualización de datos: Para presentar los resultados de manera clara y comprensible.

En cuanto a la infraestructura tecnológica para el desarrollo del proyecto, se contará con acceso a equipos y software especializados proporcionados por la empresa colaboradora:

Acceso a bases de datos, manuales técnicos y normativas relacionadas con el autoconsumo solar fotovoltaico. En conjunto, estos recursos no solo garantizan la calidad técnica del proyecto, sino que también facilitan su implementación práctica, asegurando que la solución diseñada cumpla con los requerimientos específicos de la PYME y las normativas aplicables.

Además, se utilizará un diagrama de Gantt para planificar las diferentes fases del proyecto. Este recurso permitirá definir la secuencia lógica de las tareas y así encontrar nexos en común entre ellas. Asimismo, se establecen plazos claros y asegurar la correcta ejecución del proyecto. Todo esto ayuda a un seguimiento y control del progreso en cada etapa.

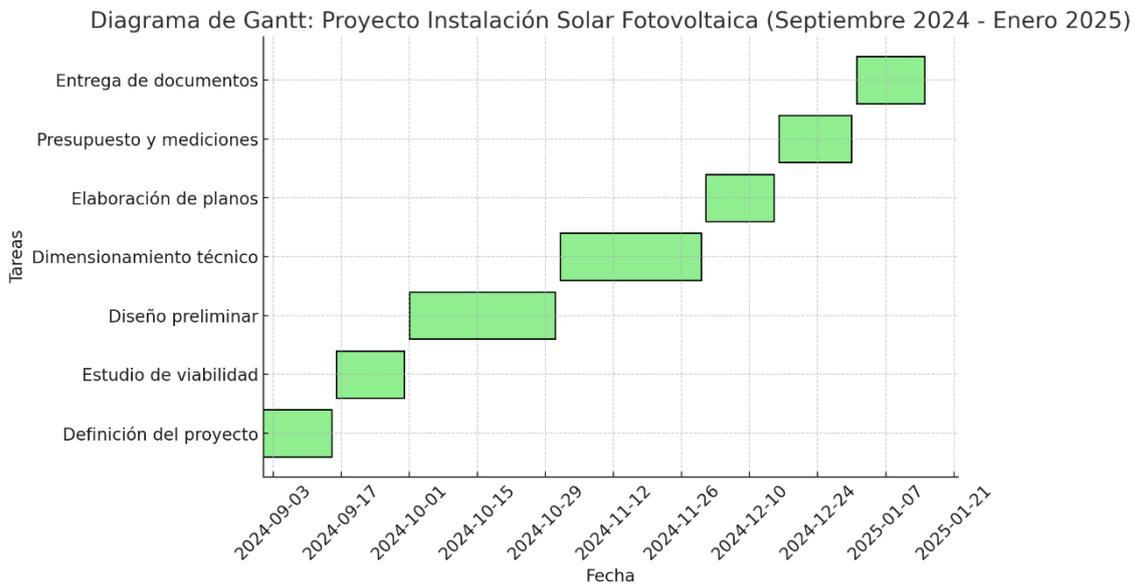


Ilustración 5. Diagrama de Gantt. Elaboración propia con asistencia de IA (2024)

Capítulo 2. ENERGÍA SOLAR

Este capítulo tratará la energía solar, siendo una de las energías renovables más utilizadas y con un papel importante en la transición energética. Se comenzará explorando el contexto general de las energías renovables, su historia y evolución tecnológica. De este modo se consigue situar la energía solar entre las otras fuentes disponibles de energía.

Posteriormente se profundizará la solar fotovoltaica analizando su funcionamiento, su historia y su creciente relevancia a nivel mundial, europeo y español.

Para finalizar se examinará como esta fuente presenta numerosas ventajas para pequeñas y medianas empresas. Este análisis permite encajar la estrategia y su relevancia en el mundo de las PYMEs.

2.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Este apartado introduce el concepto de las energías renovables, la historia y su papel en la evolución tecnológica. Además, se destacan los tipos principales, así como su relevancia para proporcionar contexto para la energía solar.

Citando al gran Sun tzu: *“Quien sabe resolver las dificultades las resuelve antes de que surjan. El que se destaca en derrotar a sus enemigos triunfa antes de que se materialicen sus amenazas”* [1]. Los limitados combustibles fósiles han llevado a la humanidad a crear fuentes de energía alternativas para abastecer la demanda de energía a nivel global. La tecnología avanza, se adelanta a las amenazas, y presta nuevas soluciones a los problemas energéticos. Entre ellos destaca el encarecimiento de los combustibles fósiles por diversos

motivos. Por ejemplo, el gas, el cual es ahora de suma presencia mediática, tiene un alto coste debido a la guerra entre Ucrania y Rusia o la politización de las fuentes de energía, en su caso la nuclear. La cual actualmente cada país define si es considerada energía verde o no. De cualquier forma, la transición hacia una sociedad más verde es algo inapelable, al menos en el contexto de las culturas occidentales, donde el impulso por adoptar energías limpias es una tendencia firme y sostenida.

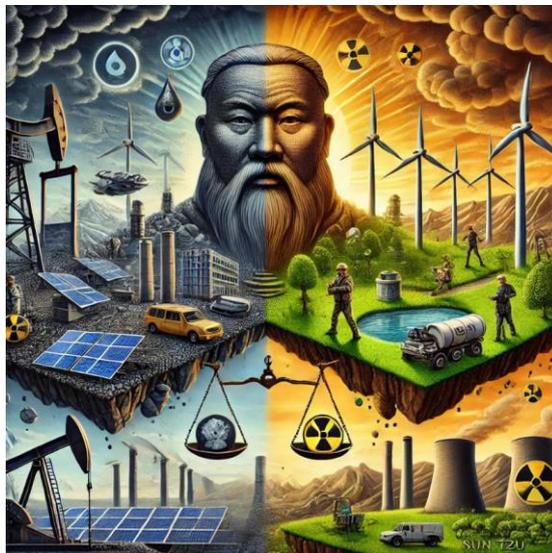


Ilustración 6. Introducción ilustrada. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Las energías renovables nacieron hace siglos con los primeros sumerios y egipcios. Estos aprovechaban la fuerza del agua para hacer mover los engranajes de norias para moler trigo [2]. Más adelante los romanos y griegos durante los siglos X y XI crearon los primeros molinos de agua. Estos tenían una rueda que aprovechaba de una manera más eficiente la energía. Los historiadores gozan de los tratados griegos técnicos del ingeniero Filón de Bizancio - “Pneumatica” y” Parasceuastica”- que datan de las primeras ruedas impulsadas por agua [6].

[2] Fundeen. “Origen de las energías renovables”. c. 2024

[6] Wikipedia. “Molino hidráulico”. c. 2024

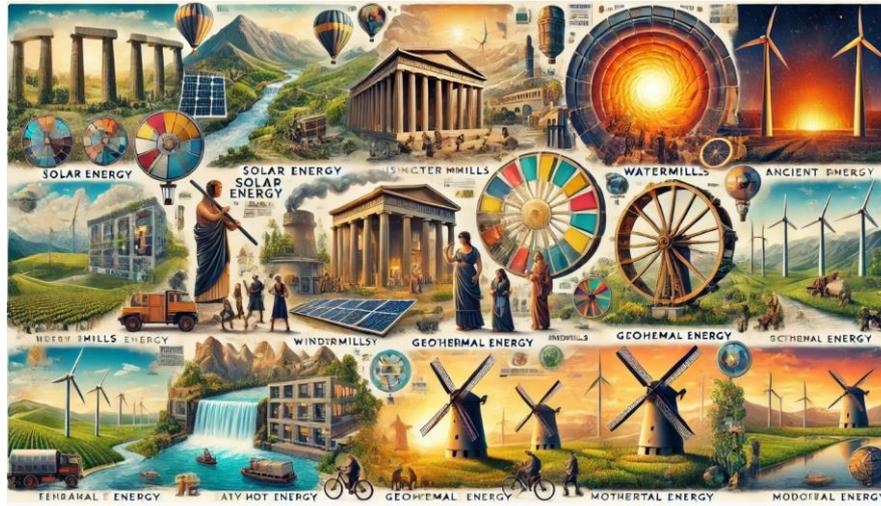


Ilustración 7. Energías renovables. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Existen numerosas fuentes de energía renovables. Las principales son: la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica o bioenergía [2].

La energía solar nace en la antigua Grecia y Roma con el uso de espejos cóncavos para encender antorchas [4]. En 1767 nace el primer colector de energía solar que se utilizó para cocinar alimentos [3]. Posteriormente, en el s. XIX se creó el primer calentador de agua y la célula solar, aparatos capaces de transformar la energía solar en electricidad. La crisis energética de la década de 1970 sumado al incremento del coste del petróleo impulsó la investigación de la energía solar, ya que numerosos países apostaron por esta fuente de energía renovable [36]. Desde 1990 los gobiernos incentivaron el desarrollo y creación de

20

[2] Fundeen. “Origen de las energías renovables”. c. 2024

[3] IBM. “Renewable Energy History”. IBM Think Topics. c. 2024

[4] Enel Green Power. “Nuevas tecnologías para antiguas formas de energía”. Marzo 2018

[36] IEA. “World Energy Outlook 2023: Executive Summary”. c. 2024

James Blyth [2]. Más tarde Blyth construyó una segunda turbina eólica para abastecer un asilo local. No fue hasta la sonada crisis de 1970 que la eólica no cogió fuerza a nivel internacional [36].



Ilustración 9. Energía eólica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

La energía hidroeléctrica, ya introducida previamente, como sugiere el prefijo “hidro” fue creada por los griegos haciendo referencia al agua [5]. No obstante, hasta el siglo XIX no se produjo electricidad a partir del agua. El ingeniero James Francis inventó la turbina Francis que sigue usándose hoy, la cual se utiliza en proyectos hidroeléctricos de grandes dimensiones [6]. Las grandes presas de Itaipú (14 MW) o la presa de las Tres Gargantas

[5] EPRE. “La energía hidroeléctrica”. c. 2024

[6] Wikipedia. “Molino hidráulico”. c. 2024

[36] IEA. “World Energy Outlook 2023: Executive Summary”. c. 2024

(22,5 MW) son ejemplos de la potencia e importancia que tiene la creación y almacenamiento de energía a partir del agua [5].



Ilustración 10. Energía hidráulica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

La energía geotérmica fue utilizada desde el paleolítico por nuestros ancestros que aprovechaban las aguas termales para bañarse. Esta energía aprovecha el calor terrestre y lo convierte en energía. Los usos más comunes de esta son enfriar y calentar edificios. Se utilizó por primera vez de manera comercial en el s. XIX en la ciudad de Hot Springs en Arkansas, Estados Unidos, donde los clientes podían bañarse en agua caliente gracias a 3 fuentes diferentes de calor [4]. Más tarde, en Italia, Piero Conti aprovechó el vapor de un campo geotérmico en la Toscana para encender bombillas. Posteriormente se construyó una central

[2] Fundeen. “Origen de las energías renovables”. c. 2024

[4] Enel Green Power. “Nuevas tecnologías para antiguas formas de energía”. c. 2024

eléctrica que aprovechaba este vapor y lo transformaba en electricidad. Aunque como ya se ha comentado previamente, actualmente su uso principal es calentar o enfriar edificios [2].

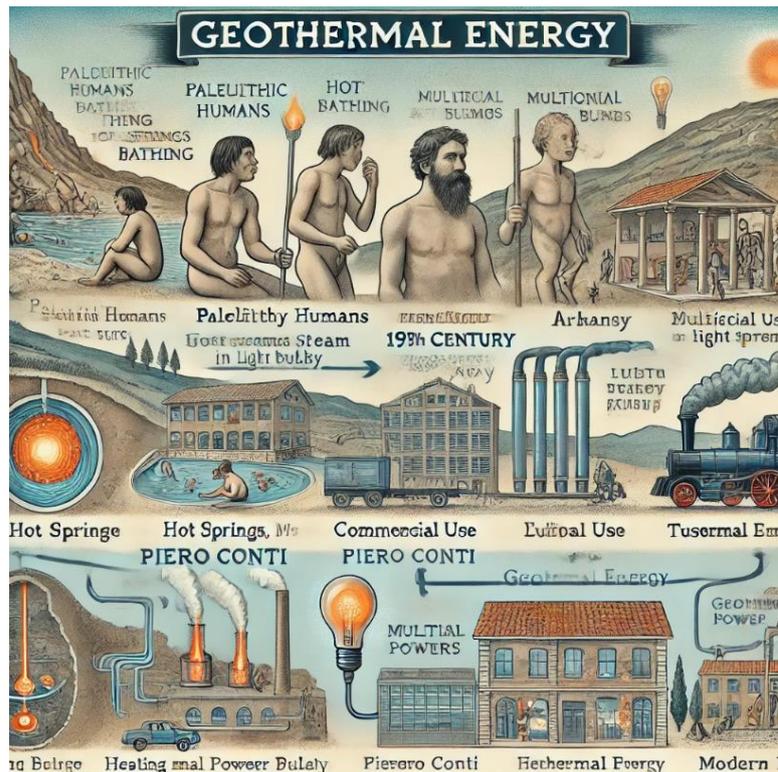


Ilustración 11. Energía geotérmica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

La bioenergía deriva de la biomasa que son materiales orgánicos de plantas y animales.

Queda demostrado que el ingenio ha llevado al ser humano a explorar sus límites de inteligencia. De igual manera, este ingenio si se utiliza en beneficio de la sociedad y de nuestros futuros descendientes, se pensarán formas de asegurar un abastecimiento de energía

[2] Fundeen. "Origen de las energías renovables". c. 2024

[4] Enel Green Power. "Nuevas tecnologías para antiguas formas de energía". c. 2024

responsable para el presente y el futuro. Por eso, las energías renovables cada vez cuentan con mayor apoyo a nivel mundial. No es casualidad que uno de los objetivos de casi todos los gobiernos de occidente sea la obtención de energía asequible y no contaminante [38].

En resumen, la humanidad no ha cesado en innovar y crear nuevas ideas para solucionar los problemas presentes y futuros. En el caso de este trabajo de fin de carrera se tratará de hacer lo mismo: encontrar una solución para una pequeña y mediana empresa (PYME) a un problema de costes de consumo energético mediante el uso de placas de autoconsumo.

Las energías renovables han demostrado ser una respuesta eficaz a los retos energéticos contemporáneos y pasados, ofreciendo soluciones sostenibles frente a los combustibles fósiles. Este apartado nos ha ayudado a comprender los fundamentos de las principales energías renovables. En el siguiente capítulo se profundizará en la energía solar.

2.2 *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*

En este apartado se define la energía solar fotovoltaica y su funcionamiento. De esta forma se asientan bases básicas técnicas para comprender el funcionamiento de esta fuente de energía.

La energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en electricidad mediante dispositivos semiconductores llamadas células fotovoltaicas. Estas células están generalmente hechas de silicio, estas se encargan de que la radiación solar que incide en ellas libere electrones generando electricidad en corriente continua. Esta es posteriormente transformada en corriente alterna mediante inversores para que sea inyectada a la red y aprovechada posteriormente por los consumidores. Este fenómeno físico se denomina el efecto fotovoltaico [11].



Ilustración 12. Energía solar fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Una vez se tienen nociones básicas del tema, el siguiente capítulo trata acerca de su historia.

2.3 HISTORIA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

En el presente apartado se detalla la historia para comprender el desarrollo actual de esta energía. Se repasan hitos históricos, factores que impulsan su creación y los descubrimientos científicos más notables.

El descubrimiento del fenómeno fotovoltaico significa un avance diferencial para el mundo de la generación de energía y, más en concreto, para el mundo de las energías renovables. El físico francés Alexandre Edmond Becquerel, experimentando con electrodos de platino en 1838, observó que al exponer este material a la luz solar la corriente eléctrica aumentaba en uno de estos [12]. El ingeniero británico Willoughby Smith, en 1873, documentó que el selenio también presentaba este efecto fotovoltaico que Becquerel descubrió. Esto sirvió para que, en 1877, el profesor londinense William Grylls Adams y su alumno Richard Evans Day construyeran por primera vez lo que hoy conocemos como célula fotovoltaica utilizando el selenio que Smith documentó [11].

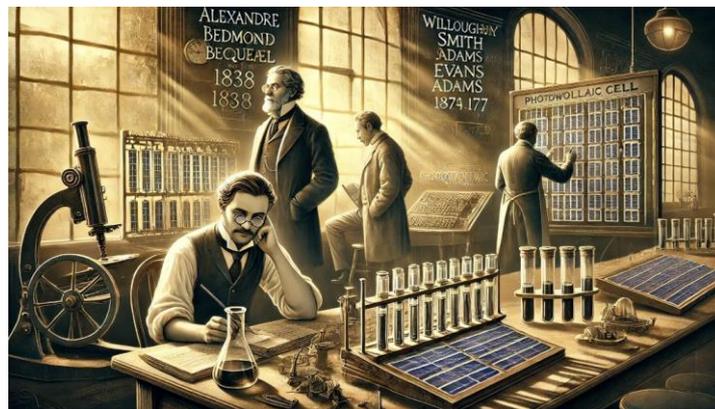


Ilustración 13. Historia de la energía fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

[11] Iberdrola. “¿Qué es la energía solar fotovoltaica?”. c. 2024

[12] Wikipedia. “Energía solar fotovoltaica”. c. 2024

No fue hasta que los Laboratorios Bell, en 1953, primeros proveedores de las células fotovoltaicas descubrieran mediante experimentos que la célula fotovoltaica hecha con base de silicio con ciertas impurezas producía una célula mucho más eficiente y sensible a la luz solar que las construidas con selenio [11].

Los inicios de esta energía fueron complicados. La mala relación entre las inversiones y el retorno económicos supuso un freno para la energía fotovoltaica. Los costes eran altísimos y las células precisaban de una mejora para utilizarlas a gran escala. Como curiosidad, por aquel entonces los únicos en utilizar las células eran las industrias jugueteras para suministrar potencia a sus pequeños juguetes [2].

Empresas aeroespaciales encontraron un gran uso para las placas solares: alimentar los satélites espaciales. Este hecho impulsó la investigación y desarrollo de esta tecnología. Gobiernos de países con gran poder, como EE. UU., impulsaron esta tecnología para que los satélites geoestacionarios pudieran generar energía con la radiación solar. Esto impulsó la investigación y, por consiguiente, la eficiencia de los paneles solares [3].

En 1958, Estados Unidos lanzó por primera vez al espacio un satélite con placas solares, en concreto: *Vanguard I*. Otros países como la URSS no tardaron en enviar al espacio sus satélites con estos paneles solares [4].

Este apartado nos ha ayudado a recorrer de forma breve la historia de esta fuente de energía. La cual nos introduce a como se puede integrar en infraestructuras específicas y su impacto real.

[2] Fundeen. “Origen de las energías renovables” c. 2024

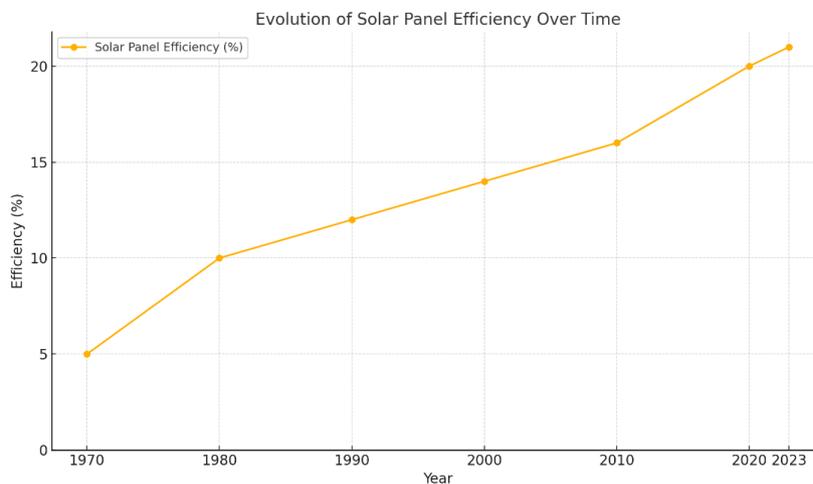
[4] Enel Green Power. “Nuevas tecnologías para antiguas formas de energía”. Marzo 2018

[11] Iberdrola. “¿Qué es la energía solar fotovoltaica?”. c. 2024

2.4 FOTVOLTAICA EN HOGARES

Este apartado analiza la transición energética de la energía solar fotovoltaica hacia aplicaciones domésticas, así como los primeros datos relevantes de esta fuente en casas.

El uso de la energía solar fotovoltaica no llegó hasta que se consiguió producir células más baratas y eficientes. En 1970 se construyó la primera célula para uso doméstico, para calculadoras y para el techo de los hogares. Con el paso de los años esta tecnología ha mejorado en eficiencia y, en consecuencia, el precio se ha reducido notablemente. Por ello, gran parte de las casas españolas tienen placas solares en sus viviendas [13]. Según datos del Observatorio Estratégico del Autoconsumo Fotovoltaico (2022), el porcentaje de hogares con autoconsumo de energía renovable se incrementó un 400% entre 2019 y 2022, pasando del 0,9% al 4,5% [10]. La eficiencia solar que presentan actualmente los paneles solares es de alrededor de un 20%, siendo por ello una de las energías renovables principales [11].



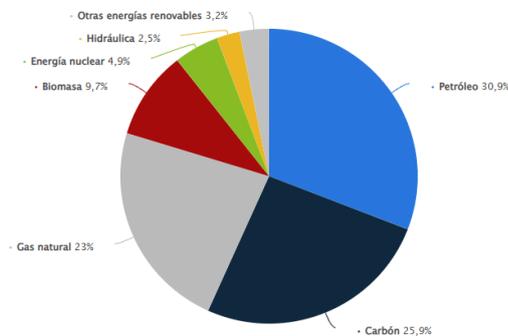
Gráfica 1. Evolución de la eficiencia de las células fotovoltaicas. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Viendo como si que tiene un impacto real en hogares lo llevaremos a una escala macro en el siguiente capítulo: la energía solar en el mundo.

2.5 ENERGÍA SOLAR EN EL MUNDO

En este apartado se analiza como la energía solar está afectando a nivel mundial, analizando su crecimiento, implementación o numerosas gráficas para entender cómo está el panorama mundial actual.

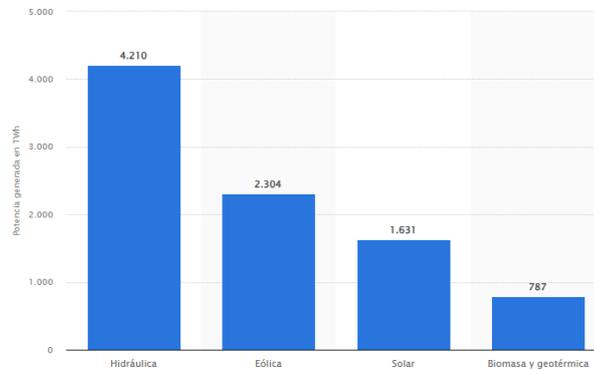
El uso de las energías renovables se ha visto incrementado por el abaratamiento de los costes de estas y por la innovación tecnológica. La alta eficiencia que presentan ha hecho que hoy en día, como se muestra en la siguiente gráfica, más del 20% de la energía a nivel mundial proviene de fuentes renovables [33].



Gráfica 2. Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2023, según la fuente.

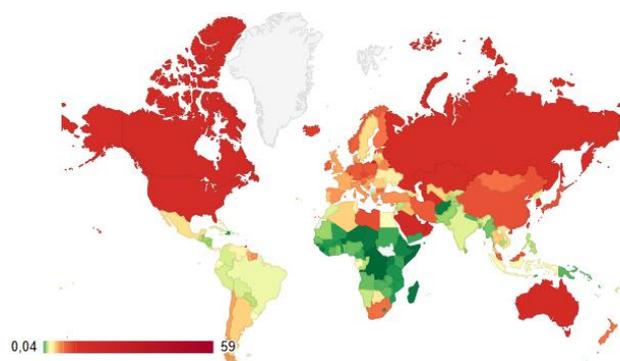
Fuente: Statista, c. 2024

La energía solar fotovoltaica es una de las principales fuentes de energía a nivel mundial con una producción anual de 1.631 TWh en 2023, consolidándose como una de las energías renovables más utilizadas, en concreto la tercera, por detrás de la hidráulica y la eólica [33].



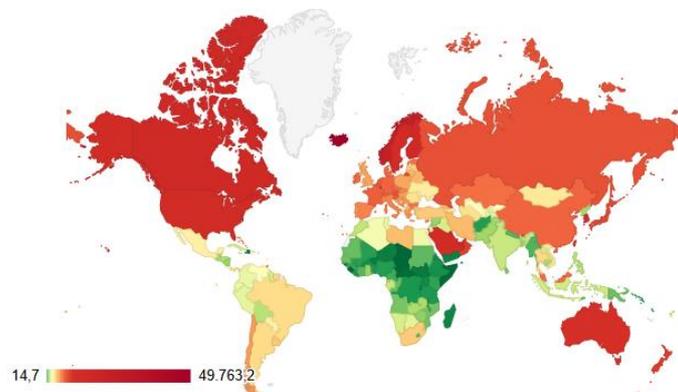
Gráfica 3. Potencia energética generada por las diferentes fuentes de energía renovable a nivel mundial en 2023. Fuente: Statista, c. 2024

Otros gráficos ayudan a visualizar el panorama global energético, por ejemplo, la cantidad de emisiones de CO₂. Esta relación muestra que los grandes consumidores de energía utilizan fuentes de energía contaminantes. No obstante, grandes presas como las de Itaipú ayudan a reducir el consumo en periodos de alta demanda, aunque se precisan ciclos combinados y centrales de carbón para abastecer la demanda en países de gran tamaño [35].



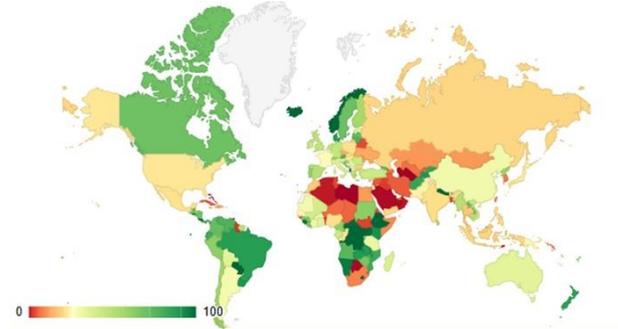
Gráfica 4. Emisiones de CO₂ per cápita en 2022. Fuente: Expansión: Datosmacro.com, c. 2024

Como se puede ver, existe una relación entre las emisiones de CO₂ y el consumo de electricidad. Los grandes consumidores de energía se ven obligados a utilizar las fuentes de energía que contaminan. Grandes presas como las de Itaipú ayudan a reducir el consumo en periodos de alta demanda donde la energía cuesta más dinero y se necesita más fuentes de energía produciendo. Aun así, se precisan de ciclos combinados y centrales de carbón para abastecer la demanda en grandes países. Esa es una de las problemáticas de la energía renovable que es variable y en función de las condiciones meteorológicas.



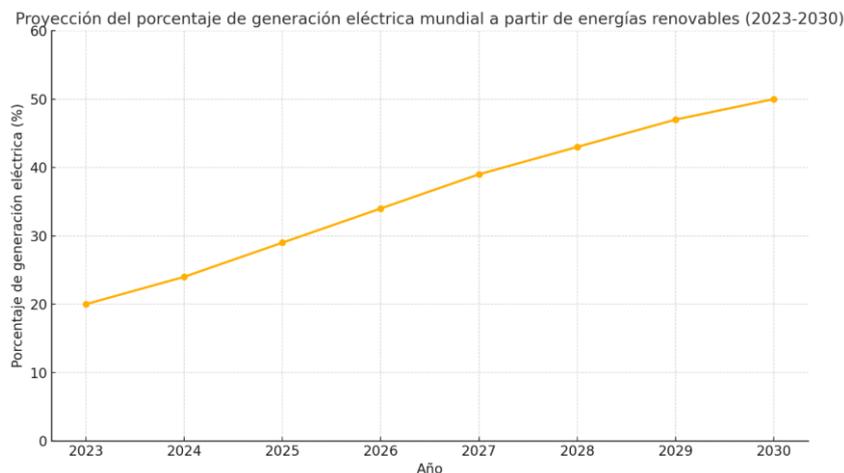
Gráfica 5. Consumo de electricidad per cápita en 2023. Fuente: Expansión: Datosmacro.com, c. 2024

En la siguiente grafica se puede ver la generación renovable por país y se aprecia como occidente esta concienciado con el futuro y el porcentaje de generación renovable es mucho mayor que en el resto de los países.



Gráfica 6. Porcentaje de generación renovable 2023. Fuente: Expansión: Datosmacro.com, c. 2024

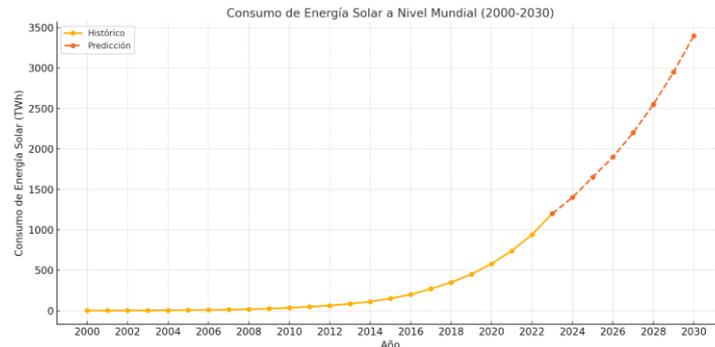
Viendo todos los gráficos mostrados se concluye que el uso de las energías renovables ha crecido gracias a la reducción de costes e innovación tecnológica alcanzando más del 20% del consumo energético global. Las previsiones para los siguientes años son los que se muestran en la siguiente gráfica, cuyos datos han sido extraídos de la Agencia Internacional de la Energía:



Gráfica 7. Proyección del porcentaje de generación eléctrica mundial. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Según la Agencia Internacional de la Energía y estudios del crecimiento de las energías renovables tiene una tendencia creciente. En concreto, la energía solar fotovoltaica prevé

una adición de 593 GW de capacidad en 2024, lo que representa un 30% con respecto 2023. China lidera este crecimiento con más de la mitad de la nueva capacidad instalada. En la siguiente gráfica se muestra el crecimiento y predicción de la energía solar a nivel mundial.



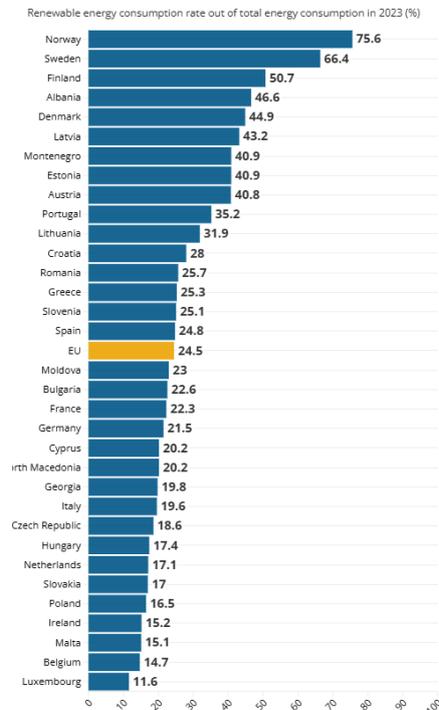
Gráfica 8. Consumo de Energía Solar a Nivel Mundial (2000-2030). Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Este análisis a nivel global de la energía destaca por su impacto positivo y como la diversificación energética ayuda a nivel global. Este panorama global proporciona un marco perfecto para el siguiente capítulo, puesto se analizará y reducirá la lupa a un nivel más pequeño: Europeo y nacional.

2.6 ENERGÍA SOLAR EN EUROPA Y ESPAÑA

Se profundiza en la adopción y desarrollo de esta fuente de energía a nivel europeo y español. Se compara con otros países y las estrategias que han impulsado esta energía. Este apartado permite contextualizar el papel de España en el panorama energético actual.

Para comparar España primero se debe mirar como los europeos están actuando al respecto con las energías verdes.

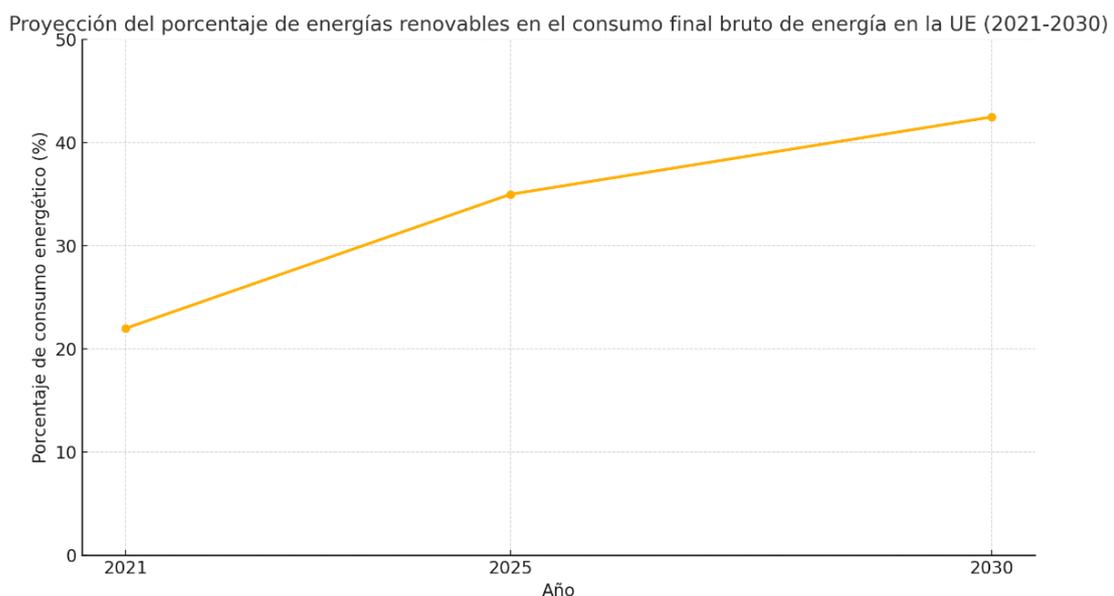


Gráfica 9. Energía renovable consumida en % por país europeo. Fuente: IAE, c. 2024

Como se aprecia en la siguiente gráfica estamos por encima de la media europea. Todavía nos queda mucho camino por recorrer hasta llegar a los niveles de Noruega, pero la innovación sobre todo en la energía solar y eólica. Según fichas temáticas de la Unión Europea el Parlamento Europeo afirman:

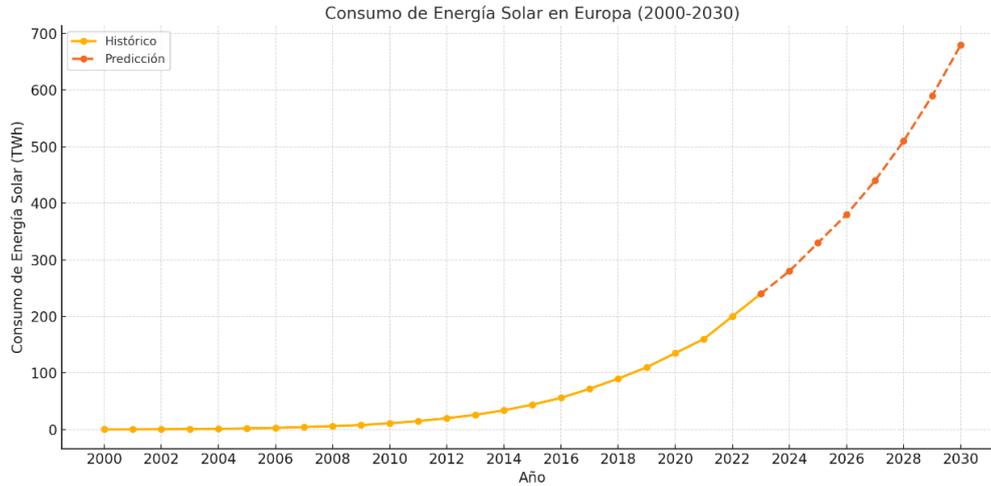
“En 2022, las energías renovables representaron el 23 % del consumo de energía de la Unión Europea. En 2023, los legisladores aumentaron el objetivo de la Unión en lo que respecta a la cuota de fuentes de energía renovables en el consumo bruto de energía para 2030 del 32 % al 42,5 %, con el objetivo de alcanzar el 45 % [37].”

Esto significaría que la proyección del porcentaje de energías renovables en Europa sería muy positiva en comparación con la que hemos visto a nivel mundial, siendo pioneros y defensores del cambio. En la gráfica siguiente se aproxima con los objetivos de la UE el consumo final bruto de energía renovable.



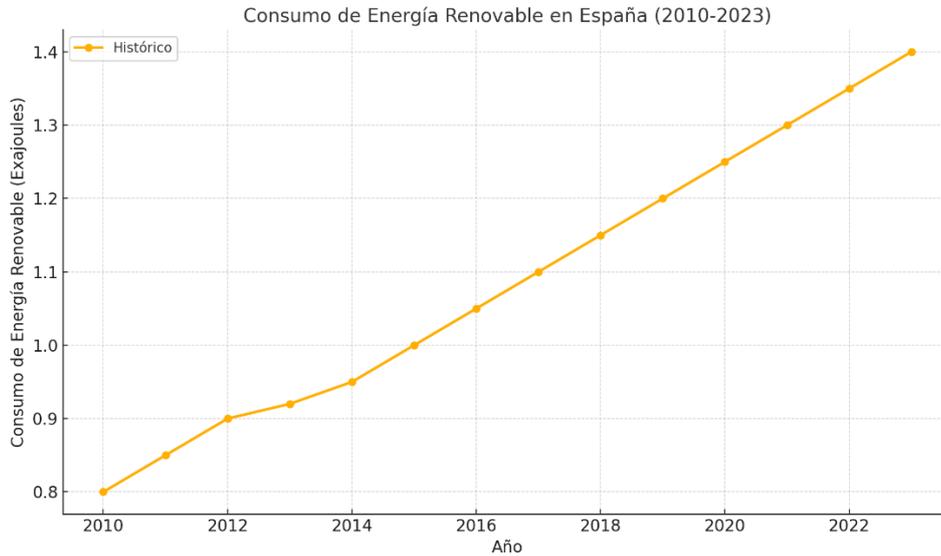
Gráfica 10. proyección del porcentaje de energías renovables en el consumo final bruto de energía en la Unión Europea. Fuente: Parlamento Europeo. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Asimismo, la energía solar en Europa presenta una línea prácticamente exponencial llegando a casi 700 TWh de consumo para 2030 [37]. Se aprecia como con el Pacto Verde Europeo las previsiones son muy positivas para esta tecnología.



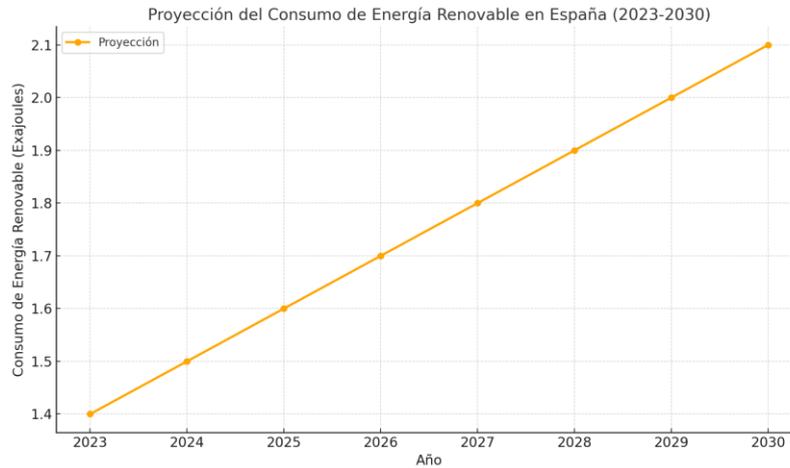
Gráfica 11. Consumo de Energía Solar en Europa. Fuente: Parlamento Europeo. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Una vez analizado el panorama europeo y global, se puede analizar con perspectiva y con capacidad crítico el panorama energético español. El consumo de energías renovables en España ha sido creciente en los últimos años.



Gráfica 12. Consumo de Energía Renovable en España. Fuente: Parlamento Europeo. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

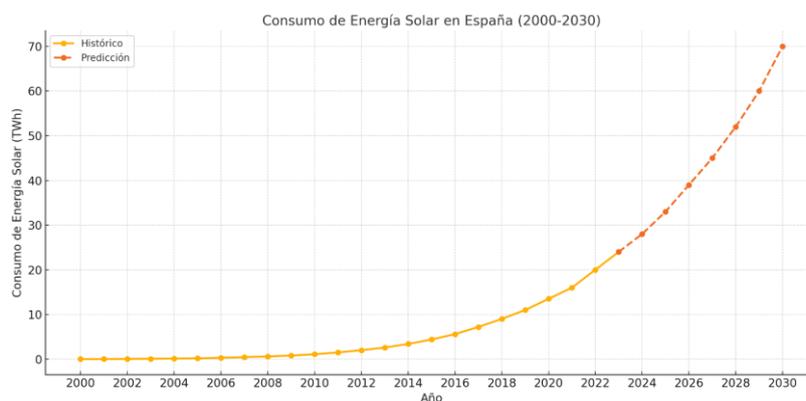
Como se puede observar en la gráfica, la tendencia alcista de las energías renovables en España no para de crecer y según los objetivos establecidos por el gobierno español se prevé que quede como en la gráfica siguiente:



Gráfica 13. Proyección del consumo de energía renovable en España. Fuente: Parlamento Europeo.

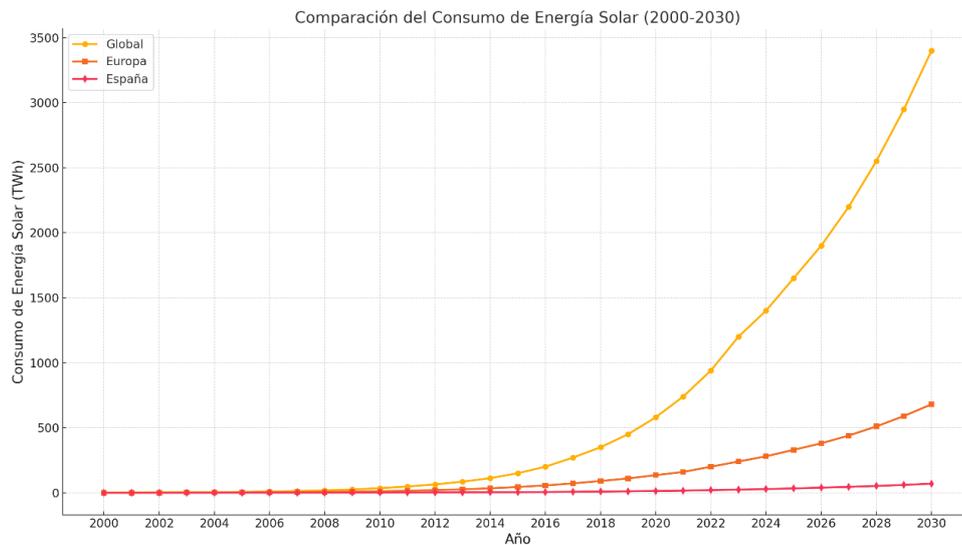
Elaboración propia con asistencia de IA (2024)

Como se comentaba previamente, la innovación tecnológica, el impulso de los gobiernos hacia una transición energética “verde” y el innegable poder de las energías renovables que no necesitan de combustibles, pudiéndose considerar energías ilimitadas están promoviendo su creación no solo en España, sino que a nivel europeo y global. De igual manera se observa una curva parecida a la europea en el caso de España con la energía solar.



Gráfica 14. Consumo de Energía Solar en España. Fuente: Parlamento Europeo. Elaboración propia con asistencia de IA (2024)

Para finalizar este análisis se presenta una última gráfica comparando el consumo de Energía Solar en los tres escenarios: Global, europeo y español. La previsión es muy buena y las curvas son muy parecidas. Concluyendo por tanto el futuro prometedor que presenta esta energía renovable.



Gráfica 15. Comparativa de la energía solar. Fuente: Parlamento Europeo. Elaboración propia con asistencia de IA (2024)

En este capítulo se demuestra el avance tecnológico europeo y español. Así como el avance tecnológico que presenta frente a otras naciones. Este análisis servirá como puente para el próximo capítulo, el cual nos centraremos en el panorama empresarial energético español.

2.7 EMPRESAS ENERGÉTICAS ESPAÑOLAS

En este apartado se analizan las principales empresas energéticas españolas, su contribución y enfoque en las energías verdes. Este análisis permite entender las dinámicas del mercado energético nacional y como pueden servir de referencia estas empresas para las PYMEs españolas.

Las principales empresas españolas de energía en España son: Iberdrola, Endesa, Naturgy, Repsol y Cepsa. Cada una de estas empresas tienen puntos fuertes los cuales destaca Iberdrola con su renombre en energía eólica a nivel mundial, Endesa con su desarrollo de plantas solares o Repsol con su desarrollo de las plantas de Hidrógeno verde [8][14].

Tabla 4. Principales energéticas en España [19]. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

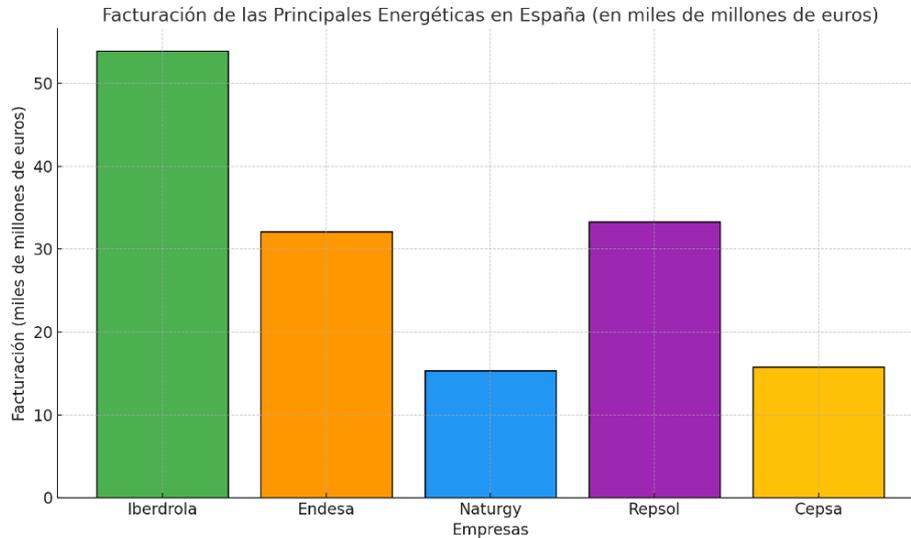
Empresa	Generación Anual (TWh)	Contribución (%)	Áreas Destacadas
Iberdrola	140	35	Energías renovables, redes inteligentes
Endesa	120	30	Solar, eólica, economía circular
Naturgy	60	15	Gas renovable, soluciones híbridas
Repsol	45	12	Hidrógeno verde, biocombustibles
Cepsa	20	8	Química verde, movilidad sostenible

Estas empresas que cotizan en el IBEX 35 presentan una gran contribución económica al país. No solo son empresas que destacan por su papel fundamental en el sector renovable y por su innovación tecnológica, sino que también son importantes a nivel nacional por su creación de empleo [19]. Facturando cantidades notables que se aportan en la gráfica siguiente.

[8] El País. “Las PYMEs, el motor que mueve el empleo y el crecimiento de la economía española”. 13 de mayo de 2024

[14] ABC. “Las PYMEs y el autoconsumo solar: un rayo de competitividad”. 2 de octubre de 2024

[19] Superdeporte. “España vuelve a batir récords en energías renovables”. 21 de diciembre 2024



Gráfica 16. Facturación de las principales Energéticas en España. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

Estas empresas tienen gran parte del mercado energético, pero todavía hay hueco para otras empresas. Una de ellas es Greenvolt, empresa nacida en Portugal que tiene numerosos proyectos en España.

Este capítulo nos introduce como las empresas energéticas españolas son punteras en el sector y son ejemplo a nivel mundial y para empresas del sector como Greenvolt, empresa colaboradora del proyecto.

2.8 GREENVOLT

En este apartado se presenta a Greenvolt, empresa colaboradora del proyecto, donde se analiza de forma breve la empresa.

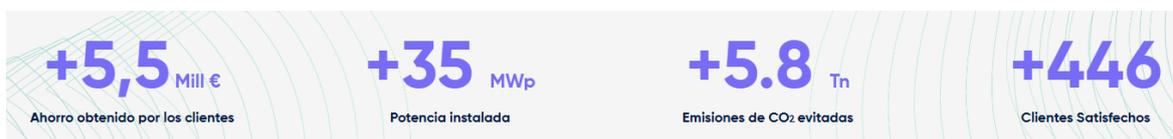
Esta multinacional nacida en Portugal se dedica en proyecto a menor escala y de alta eficiencia energética para pequeñas y medianas empresas, como la instalación de placas de autoconsumo. La visión fresca que aporta Greenvolt al sector beneficia la diversificación energética y optimización de la red eléctrica. Asimismo, la seguridad eléctrica ibérica se ve reforzada con iniciativas como la de Greenvolt, acelerando también el cambio hacia un modelo verde.

Su lema es:

“Produce, consume y comparte tu propia energía”

Alientan a las PYMES a producir su propia energía para reducir su consumo energético y contribuir a la transición energética. De igual manera, sostienen que al producir tu propia energía no dependerás de la red eléctrica. De esta forma se beneficia la red y el cliente pues gozará de mayor autonomía. Además, la energía no consumida se podrá compartir a través de la red para posteriormente reducir el consumo energético.

Los datos en España para Greenvolt ya son notables:



Gráfica 17. Datos de la web de Greenvolt. Fuente: Greenvolt, 2024

Ya han colaborado con más de 446 clientes ayudando a ahorrar su factura de la luz, maximizar sus ingresos, controlar su consumo y fomentar empresas sostenibles.

2.8.1 VENTAJAS, DESAFÍA Y CONSIDERACIONES

Con el exhausto análisis hecho acerca de las energías renovables y más en concreto de la energía solar fotovoltaica. Se concluye este episodio, haciendo una breve síntesis para el tema que nos ocupa: ¿debería una PYME instalar placas solares de autoconsumo?

Las ventajas son las siguientes:

1. Reducción de los costes energéticos
2. Incentivos económicos y fiscales
3. Autonomía energética parcial
4. Mayor seguridad de la red
5. Mejora de imagen corporativa
6. Impacto medioambiental positivo

Mientras que los desafíos son:

1. Inversión inicial elevada
2. Limitaciones técnicas
3. Dependencia climatológica
4. Gestión y mantenimiento
5. Normativa y procedimientos

A modo de conclusión para este capítulo, se han explorado las diferentes energías disponibles y su trayectoria histórica. Asimismo, se ha profundizado en el panorama global, europeo y español, mostrándonos como la energía solar es una solución eficiente y clave. Esto nos ha ayudado a darnos cuenta de los retos que presenta el sector y como Greenvolt es

una empresa competitiva y con gran proyección. El siguiente capítulo se centrará en los elementos de una planta fotovoltaica y los equipos necesarios para su funcionamiento.

Capítulo 3. ELEMENTOS Y EQUIPOS DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

Habiendo introducido todo el panorama energético ya estamos en contexto para empezar a introducir las partes que formaran nuestra planta fotovoltaica. Este capítulo desgranara cada una de las partes de una planta en general.

Posteriormente en el capítulo específico para nuestra PYME se detallarán con mayor precisión cada parte seleccionada. Incluyendo unas tablas con los componentes, incluyendo especificaciones cedidas por Greenvolt.

Gracias a este análisis de los componentes de nuestra planta seremos capaces de comprender como funciona la fotovoltaica. Uniendo posteriormente las piezas de nuestro puzzle la planta será capaz de funcionar como un reloj suizo.

Para la explicación de las partes de una instalación fotovoltaica este capítulo utilizará de referencia el libro de Ernesto Rodríguez Arias: *INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS: Componentes, Cálculo y Diseño* y la web de *Areatecnologia* correctamente referenciada.

3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Una planta solar fotovoltaica generalmente está formada por los siguientes componentes: el panel fotovoltaico, el regulador de carga, el inversor o inversores, cuadro de protecciones, baterías y los receptores.

A continuación, se detallarán los elementos fundamentales para comprender el funcionamiento de una planta solar fotovoltaica de autoconsumo.

3.1.1 PANELES SOLARES

Los paneles solares son el núcleo de nuestra planta, son los encargados de transformar la energía solar en electricidad. Para comprender como funciona se detallaran las características principales, las diferentes configuraciones y una vez sentadas estas bases en el capítulo dedicado a nuestra PYME seremos capaces de adaptarnos a las necesidades del cliente.

Este componente es el encargado en transformar la energía del sol, en forma de radiación solar, en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico explicado en el capítulo 2.

Estos paneles están compuestos por células solares construidas con una base de silicio que están puestas en serie optimizando el espacio disponible. Es lógico decir entonces que cuanta más superficie más celdas habrá y por tanto mayor producción energética tendrá la placa.

Las células más comunes producen en torno a 4 W con una corriente de alrededor de 7/8 Amperios y con una tensión de 0,5 Voltios [30]. El conexionado de numerosas células en serie se hace necesario por la potencia tan baja generada. Es, por tanto, que cuando se habla de la potencia generada por la placa el fabricante se refiere a la suma de las potencias generadas por las células que la componen.

3.1.1.1 Partes de un panel solar

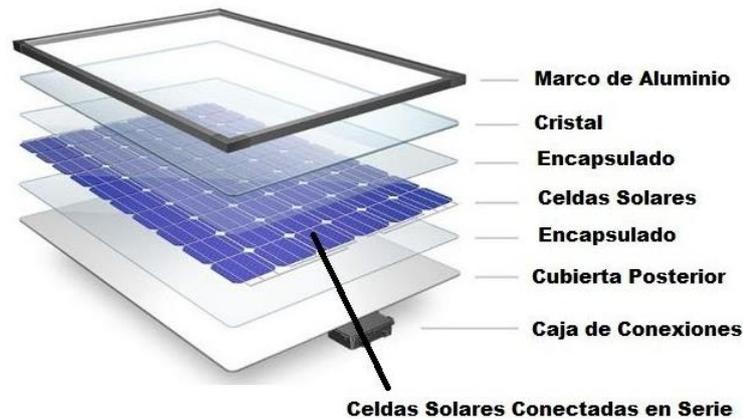


Ilustración 14. Partes de un panel solar. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

1. Marco de aluminio cuya función principal es dar rigidez, facilitar la instalación de la estructura, proteger el perímetro de la humedad y golpes.
2. Cristal o cubierta cuya función es proteger a las celdas de las partículas en suspensión en el aire, lluvia... en definitiva, elementos externos que pueden estar en el aire. De manera general el material utilizado es el vidrio, material traslucido, anti reflexivo que favorece la penetración solar y antiadherentes que favorece la limpieza del panel evitando así que la suciedad o polvo impidan la penetración de la radiación solar.
3. El primer encapsulado es una capa fabricada con polímeros, de manera general se utiliza EVA (etileno-vinil-acetato), para proteger las celdas y cableado eléctrico frente daños químicos o mecánicos. Este polímero ayuda a minimizar las pérdidas de transmisión solar. Su alta resistencia, su barrera adicional contra la humedad y agentes externos afectan al rendimiento del panel.
4. Las celdas solares son la parte encargada en transformar la radiación solar en energía. Aquí sucede el efecto fotovoltaico. Están fabricadas de silicio cristalino, monocristalinos o policristalinos en función de la eficiencia que desee el cliente.

- Estas celdas colocadas en serie (o en paralelo) acumulan la potencia generada por cada una de las celdas para alcanzar la potencia total de la placa.
5. El segundo encapsulado se encarga principalmente de proteger las celdas solares traseras amortiguando frente impactos o vibraciones y alargar la vida útil de la placa. En cuanto al resto de funcionalidades es muy similar al primer encapsulado y además ayuda a mejorar la durabilidad de los componentes eléctricos, refuerza el aislamiento frente elementos externos, cambios de temperatura y químicos.
 6. La cubierta posterior o “backsheet” es una lámina opaca que cubre la parte trasera de la placa. Sus funciones son proteger las celdas solares y a los capsulados internos frente elementos externos, humedad, cambios de temperatura y químicos, asimismo aporta rigidez estructural y favorece el aislamiento eléctrico. Este componente tiene que ser resistente a la radiación y duradero para favorecer la vida útil de la placa y un funcionamiento óptimo de la placa.
 7. La caja de conexiones contiene el conexionado de la celda. Su función es recolectar la intensidad generada e interconectar la placa con el inversor u otros módulos. También protege el conexionado frente humedades o variaciones de temperatura. Previene el efecto sombra o daños eléctricos generales con diodos de derivación.

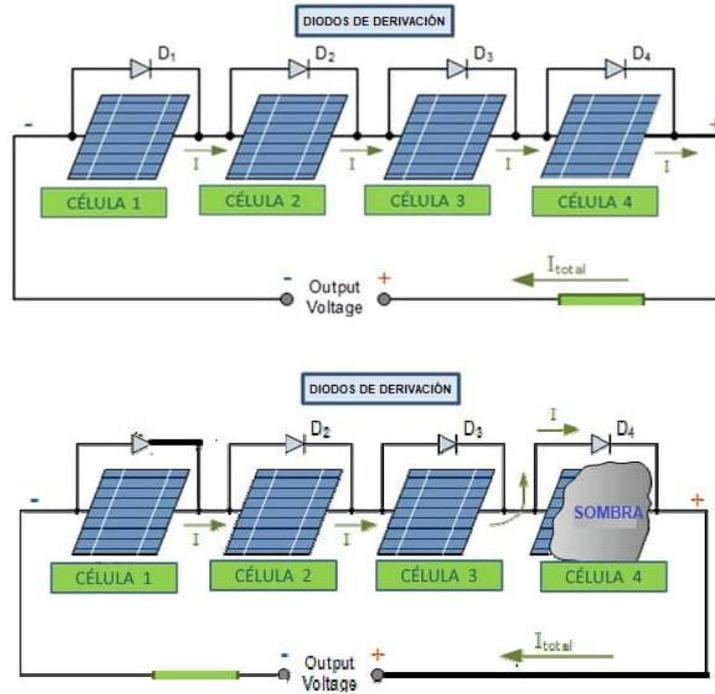


Ilustración 15. Diodos de derivación en paneles solares. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

3.1.1.2 Características de un panel solar

Cada proyecto de instalación de placas de autoconsumo requiere unas especificaciones propias. Como son la tensión de circuito abierto, corriente de corto, máxima potencia, rendimiento o factor de forma. Todos estos parámetros describen el panel y se agrupan y son visibles en la curva de intensidad – tensión.

- *Curva I-V*

En esta curva se encuentran los pares de puntos de funcionamiento de la placa de valores de intensidad-voltaje. Esta curva representa el funcionamiento tipo de una placa fotovoltaica. Esta curva puede representar la placa completa o una sola célula. Esta curva intensidad-tensión depende de 3 valores.

1. Irradiancia siendo la potencia por unidad de tiempo que es irradiada por el Sol sobre la placa [W/m^2] [kW/m^2]

Es la encargada de medir en un instante determinado la radiación solar. Siendo la irradiancia máxima $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. El valor de la irradiancia global y difusa se suelen medir con solarímetros.

2. Temperatura ambiente

Esta variara dependiendo del país en el que estemos.

3. Características de los receptores o cargas conectadas a la placa

Todos estos parámetros se reúnen en la gráfica de intensidad – tensión, que se adjunta a continuación:

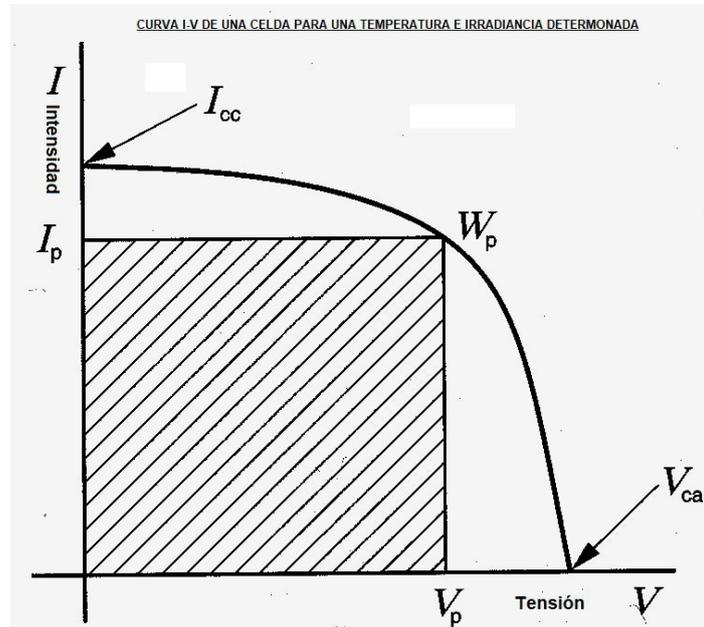


Ilustración 16. Curva I-V. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

Cada una de las irradiancias y temperaturas tendrá su propia curva. Para la siguiente imagen que se muestra se enseña como la irradiancia va modificándose en función de la célula que tenemos.

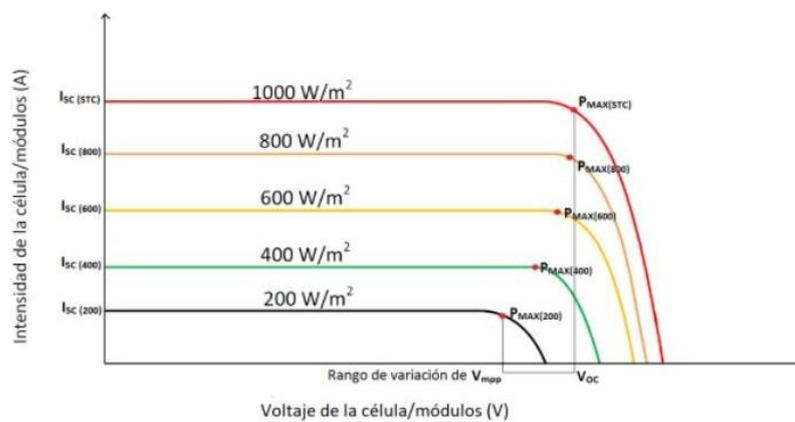


Ilustración 17. Gráfica paneles solares 1. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

De igual forma, tenemos una gráfica para la potencia.

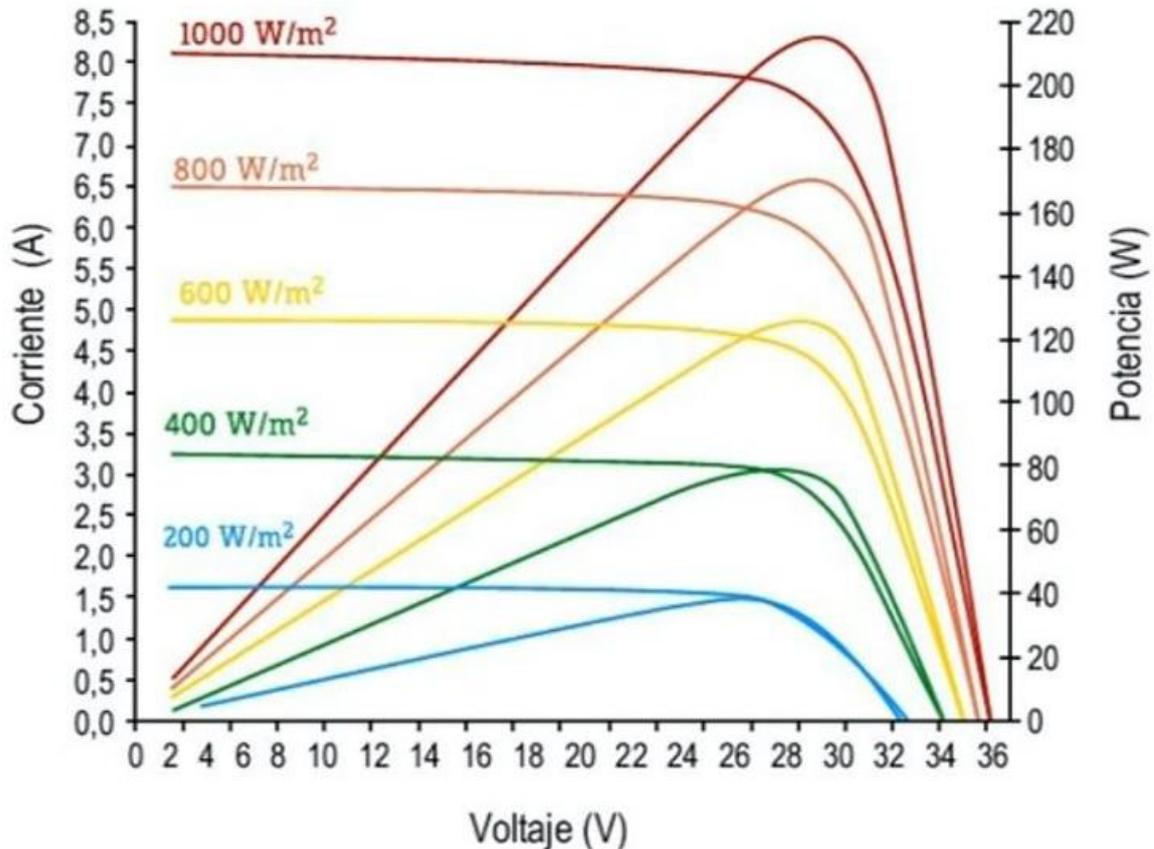


Ilustración 18. Gráfica paneles solares 2. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

3.1.1.3 Placas en serie o en paralelo

Previamente se ha comentado como las células se pueden conectar en serie o en paralelo. Es tan simple como parece. Cuando la placa está en serie la intensidad es la misma en todas las placas. En cambio, la tensión global será la suma de las tensiones individuales de cada placa. A continuación, se adjunta una imagen dibujada por mi para que se vea de forma visual, he cogido solo 3 celdas en forma de cuadrado para simplificar el dibujo, tanto para el esquema en serie como en paralelo.

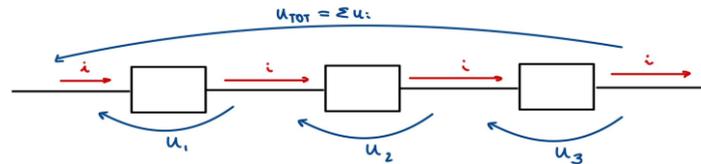


Ilustración 19. Explicación serie. Fuente: Elaboración propia, 2024.

Para el paralelo la intensidad total es la suma de las intensidades de cada una de las celdas y para la tensión total es la misma para todas.

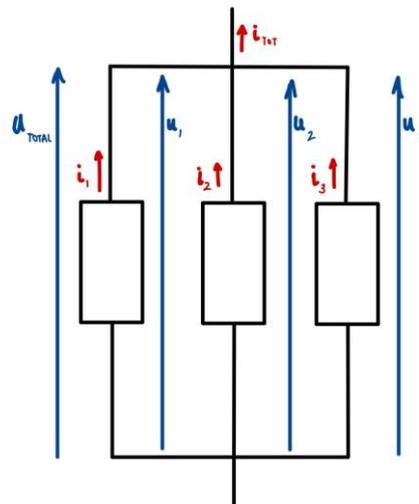


Ilustración 20. Explicación paralela. Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.1.1.4 Tipos de paneles solares

Por matizar, aunque en este trabajo nos centraremos en los paneles fotovoltaicos. Fundamentalmente existen dos tipos de paneles solares: los fotovoltaicos que producen la energía a través de la radiación solar y los térmicos que calientan un líquido con el calor del sol para posteriormente aprovechar ese calor. Existe también el termodinámico, aunque este en este caso circula un líquido refrigerante por las tuberías del panel. En este tipo se

ELEMENTOS Y EQUIPOS DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

aprovecha la termodinámica, pues es capaz de generar energía, aunque no haya sol. Este líquido en estado de ebullición al cambiar de estado es capaz de absorber mucha energía.

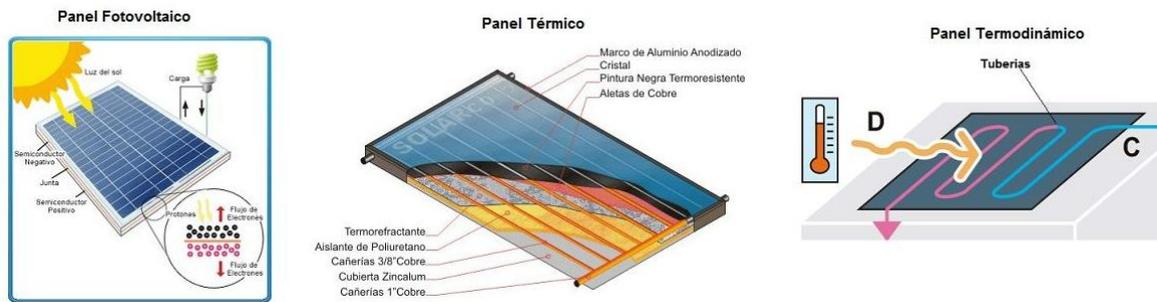


Ilustración 21. Tipos de paneles solares. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

A modo de conclusión, conociendo la funcionalidad de los paneles solares y sus tipos se podrá dimensionar con propiedad y seleccionar el modelo adecuado de panel que necesitaremos para nuestra PYME. Asimismo, este capítulo nos servirá de guía para ayudarnos a integrarlo con el siguiente componente que se detalla en el siguiente apartado.

3.1.2 REGULADOR DE CARGA

En este apartado se hablará del regulador de carga que es clave para garantizar la protección y vida útil de nuestra batería. Una vez entendido el funcionamiento de la placa pasamos a ver como este componente regula la carga, así como su optimización, eficiencia y seguridad.

Toda instalación que este aislada de la red o que puedan operar independientemente deben tener un sistema de baterías para almacenar la energía no utilizada para que si posteriormente se necesita pueda hacerse uso de esta. Para controlar el proceso de carga y descarga de las baterías se precisa de este elemento: el regulador de carga. Este elemento además de ser económico con respecto al resto de la instalación protege y alarga la vida útil de las baterías.

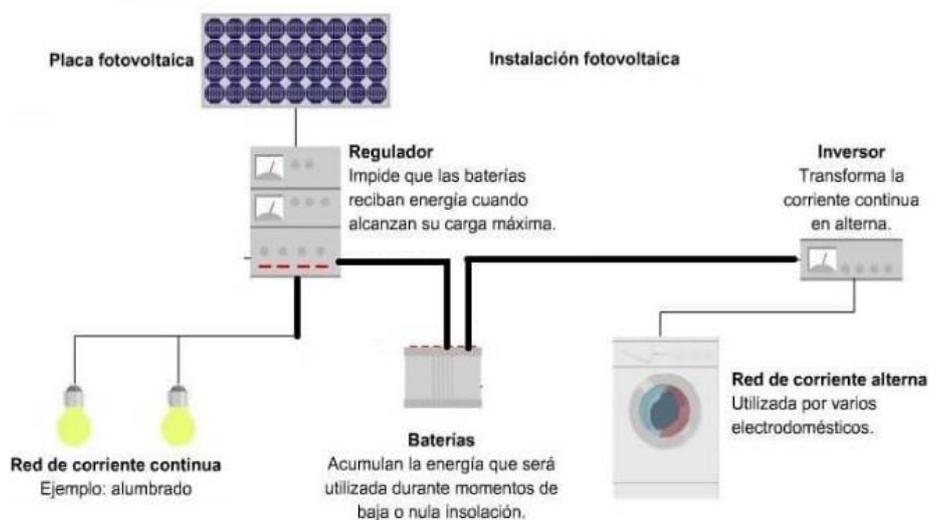


Ilustración 22. Partes de una instalación fotovoltaica. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

La función principal del regulador de carga es garantizar que la batería se cargue sin que se produzcan sobrecargas. El regulador gracias a su salida en corriente continua (CC) se podría conectar al inversor. Aunque no es recomendable puesto que la intensidad que soporta el regulador es limitada y suele ser mucho menor a la que necesita el inversor, en especial cuando se habla de instalaciones de mucha potencia. Se corre el riesgo de que se queme el

regulador si el consumo supera su capacidad. Por tanto, la solución que se propone y es así como se conecta, es conectar el inversor a la batería. De esta forma el regulador solo gestiona la intensidad máxima de los paneles solares, asegurándose un correcto funcionamiento eficiente y seguro.

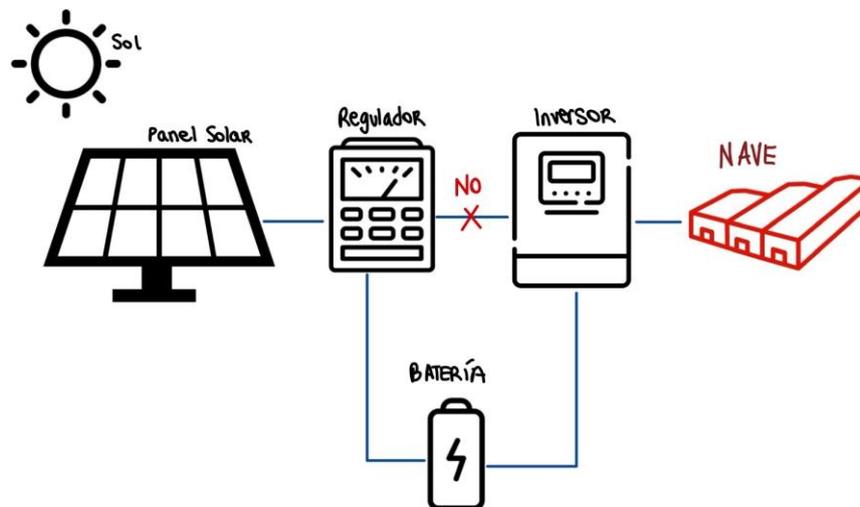


Ilustración 23. Conexión de un regulador. Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.1.2.1 Funciones principales de un regulador

- Proteger contra sobrecargas/descargas

Una vez se carga la batería al completo se encarga de interrumpir la conexión con la placa. Asimismo, se encarga de desconectar la conexión con la red si el consumo de la batería está por debajo de un nivel crítico.

- Proteger contra sobretensiones

Se encarga de evitar los daños por voltaje como por ejemplo cuando la temperatura de las células de la placa desciende en exceso.

- Evitar la descarga nocturna

Asimismo, se encargan de detectar la falta de luz solar y desconectar las baterías en caso de que las baterías se descarguen hacia el panel.

3.1.2.2 Tipos de reguladores

- *Según el método de carga*

1. Reguladores MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Estos reguladores buscan el punto de máxima potencia para así maximizar la generación de energía. Son hasta un 30% más eficientes que los de onda cuadrada (PWM). Estos reguladores incorporan un limitador de corriente para evitar las sobrecargas de las baterías. Se utiliza con frecuencia en instalaciones grandes y modernas. No obstante, no todo iba a ser bueno, su alto coste frena a pequeños inversores de su instalación.

2. Reguladores PWM (Pulse Width Modulation)

Como su propio nombre indica, son de onda cuadrada y funcionan con un sistema de todo o nada, se desconecta o conecta en función de la tensión de la batería. Como se ha dicho anteriormente, son más ineficientes y presentan limitaciones de potencia inferiores. Su clara ventaja es su precio, mucho más económico a los de MPPT y accesible para pequeñas plantas.



Ilustración 24. Tipos de reguladores. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

- *Según la forma de conmutación de la batería*

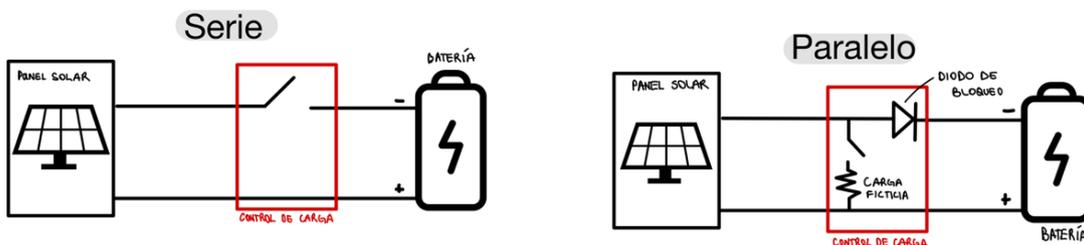
1. Serie

Esta configuración utiliza conectores electromecánicos o electrónicos para que cuando se sobrepase un cierto nivel de referencia se desconecte el generador. Asimismo, durante periodos de radiación nula se desconecta de los paneles para evitar la descarga de las baterías.

2. Paralelo

Derivan el sobrante de corriente para disipar con un circuito de resistencias. Son menos eficientes ya que generan pérdidas y también reducen el voltaje máximo de carga. Por todo ello son utilizados generalmente en pequeñas instalaciones de carga.

Ilustración 25. Conexión de reguladores. Fuente: Elaboración propia, 2024.



ELEMENTOS Y EQUIPOS DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

A modo de conclusión gracias a este elemento, el regulador, nos permite eficientar el uso de la energía, así como una protección de las baterías. A partir de este punto pasaremos a comentar el siguiente elemento de nuestra instalación fotovoltaica: los inversores que son los encargados de transformar la CC en CA.

3.1.3 INVERSORES

En este apartado se desarrollará un elemento imprescindible de nuestra planta: los inversores. Este componente se encarga de transformar nuestra electricidad generada por la placa en corriente continua a corriente alterna. Se profundizará sobre los tipos de inversores, sus usos y funciones principales, destacando su rol en las instalaciones.

El principal uso de los inversores en las instalaciones de autoconsumo es transformar la corriente continua en corriente alterna. En concreto en Europa la corriente alterna es de 230 V_{ef} en monofásica mientras que 400 V para la trifásica con 50 Hz de frecuencia. De esta manera se consigue transformar la electricidad en corriente continua generada por la placa para utilizarla posteriormente o enviarla a la red en alterna.

3.1.3.1 Tipos de inversores

Existen 2 principales tipos de instalación. Estos dispositivos necesitan de unas baterías para poder funcionar, puesto que con estas tendremos mayor capacidad de maniobra de intensidad y también se eviten daños por sobrecargas.

3.1.3.1.1 Conectado a la red

Con esta configuración se puede conectar el sistema fotovoltaico a la red eléctrica para poder inyectar energía sin necesidad de consumirla el propio productor.

- **Inversor de autoconsumo directo**

Se encarga de transformar la corriente continua conseguida con la placa en corriente alterna para posteriormente inyectarla a la red o consumirla en la red interna (vivienda o industria). Asimismo, se encarga de priorizar el consumo de la energía producida por la planta que la suministrada por la red. En caso de que la producción solar no consiga llegar a cubrir la demanda que se necesita utilizara energía de la red para cubrirla.

- **Inversor de autoconsumo con baterías**

Es muy parecido al anterior, pero en este caso existe la posibilidad de almacenar la energía en vez de inyectarla a la red para posteriormente utilizarla o inyectarla a la red en un periodo donde la energía cueste más dinero de producir y así sacar mayor rentabilidad a la energía excedente que es almacenada en la batería.

3.1.3.1.2 Aislado

- **Inversor/cargador**

Este tipo de dispositivo es usado en plantas de autoconsumo que no consiguen suplir la demanda total pues son instalados en zonas con baja radiación solar como una fuente adicional.

- **Inversor/regulador**

Este dispositivo es capaz de controlar la intensidad de las corrientes y gestionar la carga de las baterías mediante un regulador interno.

- **Inversor/regulador/cargador**

Este dispositivo englobe las funciones de inversor, regulador y cargador. Al ser un multiusos es menos eficiente pero más económico.

3.1.3.2 Características de los inversores

Al elegir el inversor se deben tener unos parámetros clave:

- Rendimiento: asegurar que la relación entre la potencia de entrada y salida sea entre 90% y 97%.
- Tensión nominal: aplicada en la entrada del inversor.
- Potencia activa: Potencia real considerando el desfase entre la intensidad y el voltaje.

- Potencia nominal: Potencia aparente suministrada de forma continua
- Capacidad de sobrecarga: Capacidad del inversor de suministrar potencias superiores a la nominal durante periodos cortos. Crucial para arranques.
- Forma de la onda: corresponde con la calidad de la señal a la salida.

3.1.3.3 Protecciones

Para asegurar un correcto funcionamiento de la instalación fotovoltaica se tienen que incluir protecciones que garanticen su seguridad.

- Protección contra calentamientos
- Protección contra cortos y sobrecargas
- Protección de aislamiento
- Protección de funcionamiento en modo de isla
- Protección contra la inversión de polaridad

Los nombres de las protecciones son auto explicativos, todas están encargadas de evitar daños en el sistema desconectando los módulos o el cableado entre las diferentes partes de la instalación.

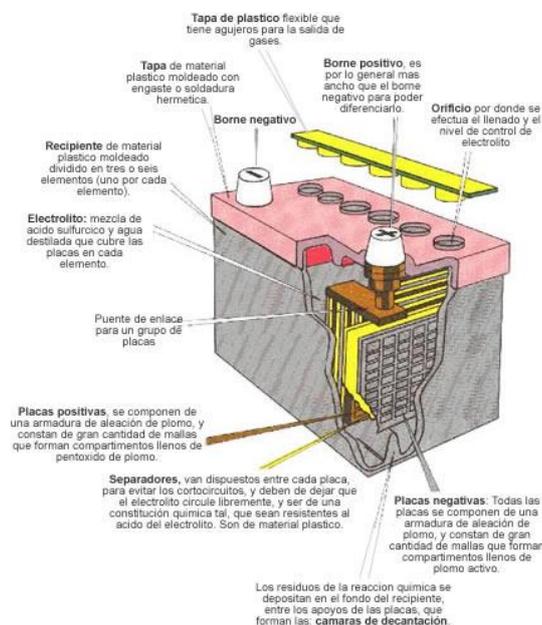
En conclusión, este presente apartado nos ha ayudado a comprobar que la elección del inversor es muy importante y se debe pensar para adaptar a las necesidades específicas de cada planta. Por ello nos será de gran utilidad para el capítulo en el que desarrollaremos nuestra planta solar fotovoltaica para nuestra PYME. El siguiente componente que se desarrollara son las baterías que proporcionarían autonomía a la planta.

3.1.4 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

En presente apartado se hablará sobre las baterías que son condensadores que almacenan energía. Con este aparato se gozará de energía en periodos que no haya producción generando así un suministro constante de energía. En esta sección se tratará cómo funcionan las baterías y su papel en los distintos tipos de plantas fotovoltaicas.

Uno de los mayores retos de esta tecnología es su alta variabilidad en función de si el día es soleado o durante los periodos nocturnos. Por ello almacenar la energía y utilizarlas en horas donde carecemos de radiación solar puede ser de gran utilidad. Una vez se descarga puede volver a usarse con energía de nuestras placas. Son baterías reversibles que sirve de carga y descarga. Este dispositivo puede ser perfectamente el más caro de nuestra instalación y se debe dimensionar con delicadeza.

Ilustración 26. Partes de una batería. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.



3.1.4.1 Funciones principales de una batería

- Suministrar energía durante periodos con falta de energía. La potencia instantánea de una batería es generalmente superior a la de la placa solar.
- Suministrar energía en periodos con baja radiación solar. Se encargaría de almacenar energía en periodos valle para usarla en periodos pico de demanda.
- Estabilizar la curva de demanda junto con el regulador.

El funcionamiento puramente eléctrico de una batería que debemos conocer para saber como puede desenvolverse en una planta fotovoltaica es el siguiente:

Consiste en una celda electroquímica, también llamada vaso, ya que en ella reside un líquido denominado electrolito. La batería es como un condensador, ya que está compuesta por dos placas metálicas llamadas electrodos, cada uno con una polaridad. En el caso de las plantas fotovoltaicas se suele utilizar una disolución de ácido sulfúrico y electrodos de plomo, de ahí su nombre Plomo ácido.

3.1.4.2 Carga de la batería

Al unir los dos electrodos a las placas solares se almacena energía eléctrica gracias al proceso electrolito. Esta diferencia de potencial aumenta a medida que se va almacenando energía llegando a un límite de voltaje. Actúa como se ve igual que un condensador.

3.1.4.3 Descarga de la batería

Al conectar los electrodos a un circuito externo se genera una corriente eléctrica debido a la diferencia de potencial entre ellos, generando así que la batería se cargue. Como comentaba previamente, el funcionamiento es idéntico a un condensador. Esta diferencia de potencial si no se sigue alimentando ira disminuyendo con el paso del tiempo con la constante de tiempo que corresponda a la batería (condensador). Una vez tengamos diferencia de potencial nulo significara que nuestra batería se ha descargado. Un condensador ideal sigue la siguiente ecuación de descarga, del voltaje en función del tiempo:

$$V(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

Siendo V_0 : el voltaje inicial, R: la resistencia en el circuito, la capacitancia del condensador y RC: cte. de tiempo. Gracias a esta comparación se aprecia como un condensador, al igual que una batería se descarga con el tiempo, incluso aunque no se utilice.

Con frecuencia las baterías contienen celdas electrolíticas en su interior y el voltaje total de la batería será la suma de estas tensiones. Para nuestra planta solar fotovoltaica necesitaremos que la batería tenga la capacidad de cargarse y descargarse. En caso de necesitar más de una batería se pueden conectar en serie o en paralelo. Ejemplo de cómo conectar dos baterías de las mismas propiedades:

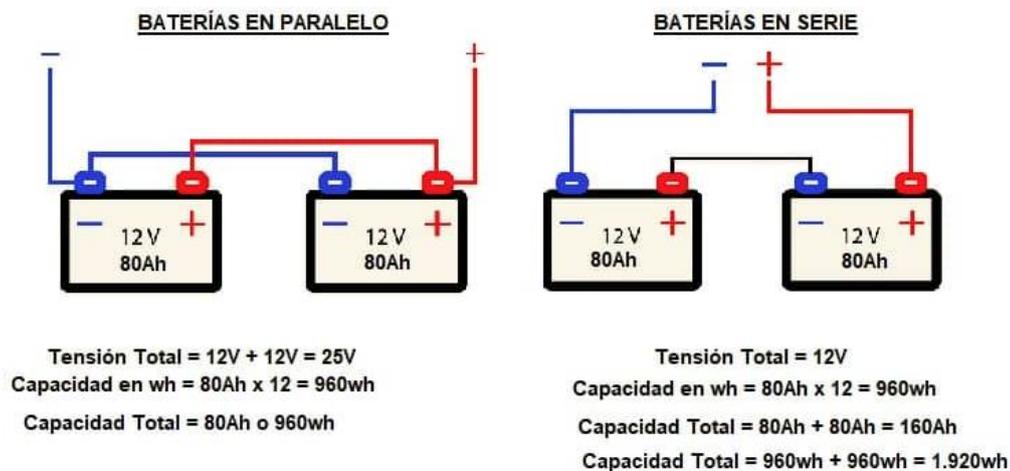


Ilustración 27. Conexión de baterías. Fuente: Área Tecnología, c. 2024.

3.1.4.4 Características principales de una batería

Las baterías en sistemas fotovoltaicos tienen las siguientes características principales:

- Tensión de la batería

Este es el voltaje al que opera la batería.

- Vida útil

Este dependerá del número de ciclos de carga y descarga que la batería puede realizar. A mayor uso, mayores intensidades, la vida útil se vera reducida. Una recomendación puede ser evitar la descarga completa para prolongar la vida útil de la batería.

- Profundidad de descarga

Esta característica nos indica el porcentaje de carga máximo que puede descargarse en un solo ciclo. Es obvio entonces decir que la vida útil de la batería se prolongara si la profundidad de descarga fuera 0.

- Capacidad

Esta característica medida en amperios hora se corresponde a la intensidad por hora que puede almacenar o suministrar por hora.

$$\text{Capacidad} = \text{Intensidad} \cdot \text{Tiempo}$$

A mayor tiempo de descarga mayor capacidad tendrá la batería.

- Efecto de la temperatura

Si la batería se ve expuesta a altas temperatura durante su uso su vida útil se vera reducida pero la capacidad aumentará. Esto es algo lógico de pensar por cómo funciona la batería como un condensador. En el caso contrario, con mucho frio, se puede llegar a congelar el electrolito. Por ello es ideal conservarlas a una temperatura de alrededor de 22°C con ventilación y sin exposición a grandes variaciones de temperatura.

- Eficiencia de carga

Esta característica nos relaciona la energía que se utiliza para recargar la batería y la energía almacenada. A mayor eficiencia de carga tendrá un valor mayor.

- Autodescarga

Este parámetro nos indicara, a pesar de que no se este usando, presenta una descarga con el tiempo. Siguiendo el razonamiento de que una batería es un condensador se puede comprender con mayor facilidad.

3.1.4.5 Tipos principales de baterías

Se ha elegido una clasificación simple para las baterías según estos tres apartados:

Según el acceso al electrolito encontramos las baterías abiertas y las cerradas. Las abiertas presentan tapones para rellenar con agua destilada. Estas precisan de un mantenimiento constante para verificar el nivel de electrolito. Las cerradas presentan válvulas encargadas de liberar gases en caso de sobrecarga. Precisan de un mantenimiento menor.

Según el estado del electrolito encontramos las baterías de plomo-acido abiertas las cuales tienen electrolito liquido y electrodos de plomo. Son económicas, aunque precisan de un mantenimiento exhaustivo. Son adecuadas para ciclos de descarga poco profundos en instalaciones que presenten consumos intermitentes y moderados o bajos. Las baterías tipo GEL tienen el electrolito en estado gelatinoso. Presenta numerosas ventajas como que no precisan de mantenimiento, ventilación, no tienen salpicaduras y presentan una vida útil larga. Se utilizan para consumos medio-altos. Estas son las baterías más frecuentes. Las baterías AGM son las que presentan un electrolito absorbido en separadores de fibra de vidrio. Son cerradas y no precisan de mantenimiento ni ventilación. Son utilizadas para descargas profundas, corrientes elevadas y consumos medios. Su vida útil se alarga hasta los 5 años.

ELEMENTOS Y EQUIPOS DE UNA PLANTA FOTOVOLTAICA

Según la presentación existen dos tipos: las monobloque y las estacionarias. En primer lugar, las baterías monobloque presentan varias celdas electroquímicas conectadas en serie en un solo bloque. Asimismo, presenta la desventaja de que si una celda falla se reemplaza toda la batería. Son utilizadas en instalaciones de consumos bajos. En segundo lugar, las estacionarias presentan celdas electroquímicas conectadas en serie que son reemplazables de forma individual. Se dividen en subtipos: abiertas o cerradas, de GEL, AGM o plomo. Presentan una alta capacidad de almacenamiento, con un mantenimiento casi nulo y una relación calidad precio increíble. Son utilizadas para grandes instalaciones.

A modo de conclusión para este apartado, una vez estudiado el mundo de las baterías y cómo funcionan almacenando energía. Asimismo, con una comprensión sólida de resto de los elementos fundamentales de una planta solar fotovoltaica nos lanzamos a conocer los distintos tipos de plantas fotovoltaicas.

3.2 TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

En este apartado se describirán de forma breve y directa las instalaciones fotovoltaicas que existen y como pueden clasificarse en función de su conexión a la red eléctrica y de su propósito de diseño.

- **Instalaciones aisladas**

Estas instalaciones son utilizadas por consumidores que no tienen acceso a la red eléctrica o no quieren conectarse por cualquier motivo. Para garantizar un consumo continuo cuando no haya radiación solar precisan de baterías para almacenar energía. Aun así, no se garantiza tener energía durante todos los periodos. Pueden tener fuentes de generación alternativas para suplir esa demanda energética que no pueda suplirse con las placas, como un grupo electrógeno. El uso típico de este tipo de instalación es para viviendas, bombeos de agua o alumbrado remoto.

- **Instalaciones conectadas a la red**

Este tipo de instalaciones que están vinculadas a la red presentan la posibilidad de consumir la propia producción o inyectarla a la red. Con este tipo no se precisa de una batería puesto que la red actúa de respaldo. Al igual que no se precisa de una fuente adicional de energía para suplir la demanda que no pueda cubrirse con la producción solar pues nos la puede cubrir la red. Se incorporan inversores para sincronizar la red con la generada con las placas. Se presentan dos principales subtipos: autoconsumo y venta de energía. Uno encargado de abastecer el consumo propio y el otro de ingresar dinero por la energía producida e inyectada a la red eléctrica.

- **Instalaciones híbridas**

Este tipo de instalación es un mix entre los dos anteriores. En este se combinan otras fuentes de energía y sí que incorporan baterías para gestionar la energía solar producida. Son ideales para un consumo eléctrico irregular.

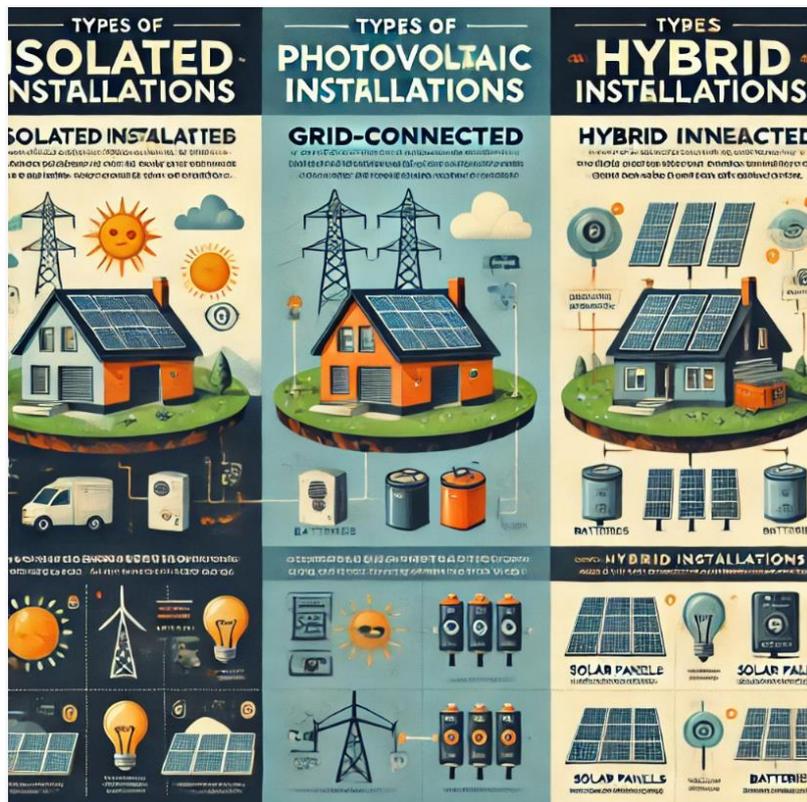


Ilustración 28. Energía geotérmica. Fuente: Tipos de plantas fotovoltaicas. Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

A modo de resumen y conclusión, con un análisis completo de los diferentes elementos que comprenden una planta solar fotovoltaica nos lanzaremos en el siguiente capítulo a desarrollar el proyecto de la mano de Greenvolt para nuestra PYME localizada en Almería.

Capítulo 4. PROYECTO FOTOVOLTAICO PARA UNA PYME

En el presente capítulo nos centraremos en hacer una breve introducción a la situación de la PYME. A continuación, se detallarán los datos técnicos pues serán de suma utilidad para otras PYMES que quieran replicar esta iniciativa instalando placas solares.

Se detallarán las partes elegidas, así como los cálculos que han precisado para la elección de las partes. Con este capítulo se concluye la parte técnica ayudando de esta forma a nuestra PYME a reducir su consumo energético con la instalación de placas solares de autoconsumo en el techo de la nave.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PYME

La PYME que nos ha contactado para el diseño de unas placas solares fotovoltaicas de autoconsumo se encuentra en Almería y dispone de una nave industrial para la instalación de las placas fotovoltaicas sobre el techo de la nave.

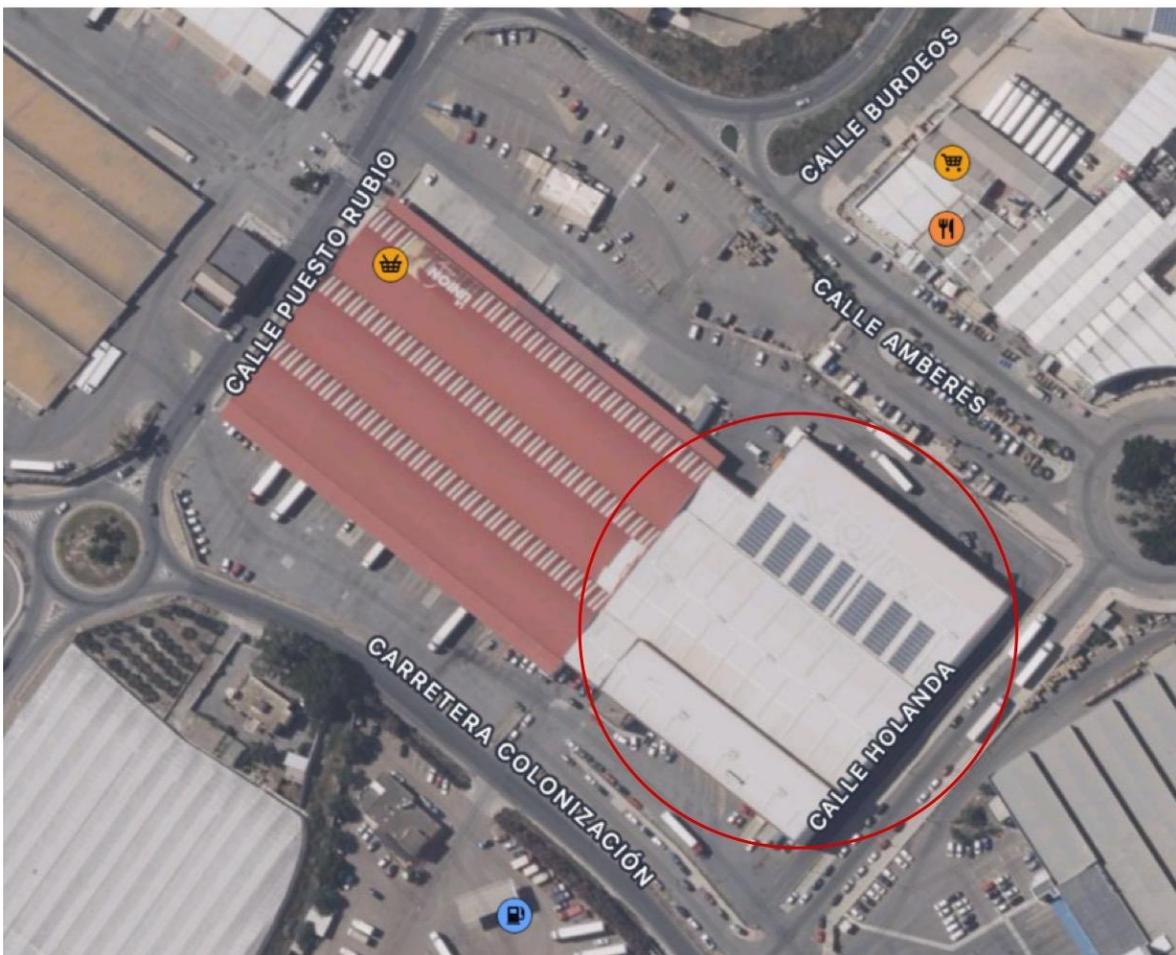


Ilustración 29. Localización de la nave. Fuente: GoogleMaps. C. 2024

4.1.1 DEMANDA ENERGÉTICA DE NUESTRA PYME

El objetivo que tiene este proyecto es reducir el consumo energético de la empresa con la instalación de placas solares de autoconsumo, con el fin de obtener un ahorro en la factura eléctrica.

Nuestra PYME presenta la curva de carga siguiente, extraída de los datos del contador eléctrico de la nave:

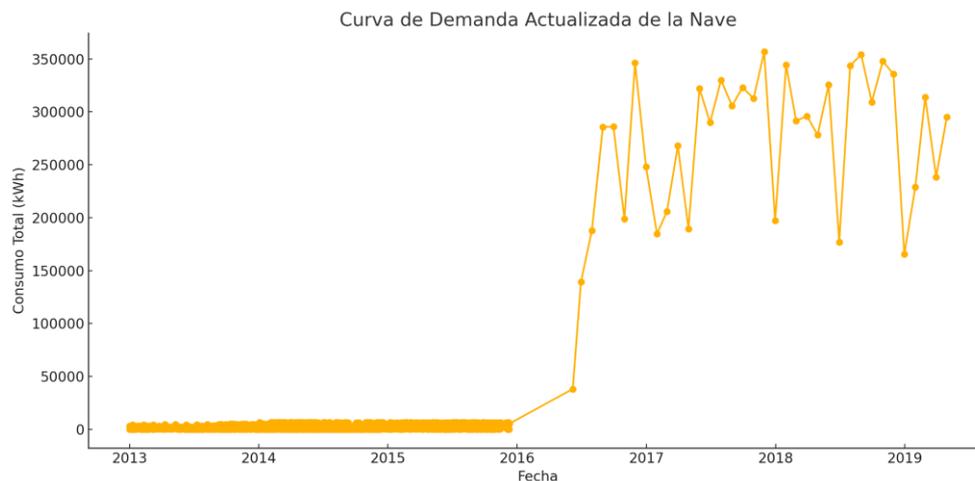


Ilustración 30. Curva de demanda PYME. Fuente: Elaboración propia con asistencia de IA, 2024.

En apartados siguientes se comparará la demanda de nuestra nave con la producción de nuestra planta fotovoltaica.

Nuestra PYME presenta estos elevados consumos debido a su actividad en el sector alimentario. Se encarga de mantener, distribuir y almacenar los alimentos, con el enfoque en

mantener la cadena de frío para garantizar la preservación de la calidad y seguridad de los alimentos. Cuenta con una nave donde se centraliza las operaciones logísticas y de almacenamiento. Los elevados consumos energéticos son por:

1. Refrigeración y conservación de alimentos: gran parte del consumo de energía de nuestra nave se dedica a la preservación de alimentos todos los días del año. Por ejemplo, cámaras frigoríficas para lácteos, carnes y pescados son los grandes consumidores en este apartado.
2. Maquinaria industrial: equipos de transporte como cintas transportadoras, montacargas o máquinas de envasado y etiquetado requieren un suministro constante para operar.
3. Iluminación: La nave cuenta con iluminación de alta intensidad para asegurar un correcto trabajo y seguro por parte de los trabajadores. Puesto que hay turnos nocturnos la necesidad de mantenerlas encendidas representa un consumo considerable.
4. Climatización y ventilación: la empresa se tiene que encargar de garantizar unas condiciones óptimas para los trabajadores y alimentos con buenos sistemas de ventilación para evitar acumulaciones de olor y humedad.
5. Vehículos eléctricos: se dispone de un cargador para vehículos eléctricos para distribuir alimentos y para el transporte interno.
6. Sistemas administrativos y tecnológicos: también se precisa de electricidad para ordenadores, sistemas de monitoreo o servidores para el control logístico.

Para un año con un consumo medio de manera aproximada quedaría como en la gráfica a continuación:

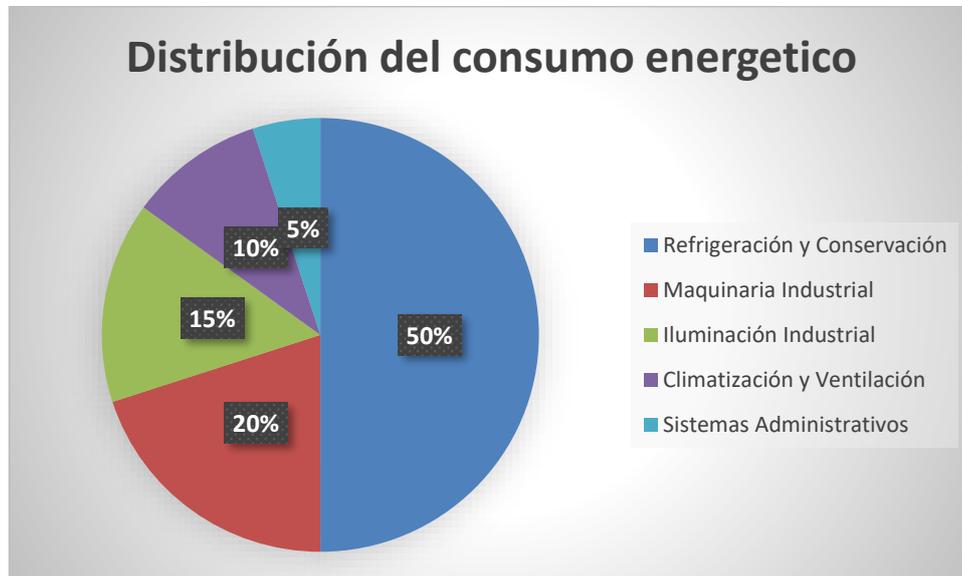


Ilustración 31. Distribución de la energía consumida por la PYME. Fuente: Elaboración propia, 2024.

Antes de empezar con nuestra planta se estudiarán: la radiación solar, la temperatura ambiente, la velocidad del viento y la claridad para las horas de la mañana y la tarde.

4.1.1.1 Radiación solar

Para el análisis previo se estudiarán la radiación solar directa, la difusa y la total recibida por nuestra nave a lo largo de un año meteorológico típico, que servirá para determinar la energía producida por nuestras placas fotovoltaicas.

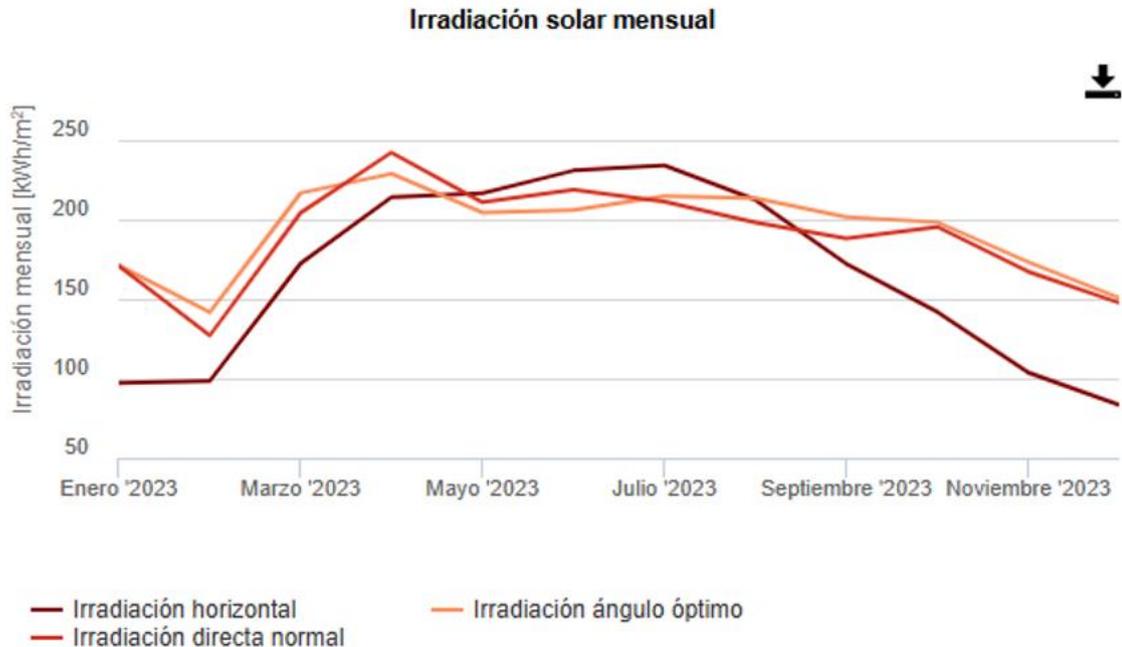


Ilustración 32. Irradiación solar mensual en Almería. Fuente: PVGIS. c. 2024

Gracias a estos gráficos por extraídos de PVGIS se puede observar que presenta una variación estacional notable. Los meses de abril o julio son los que mayor irradiancia presentan con valores superiores a 220 kWh/m² para la radiación horizontal y casi alcanzando los 250 kWh/m² para la radiación directa normal. En cambio, para los meses de menor radiación solar tenemos los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre con valores de casi 50 kWh/m² para la radiación horizontal y valores de 120 kWh/m² para la radiación de ángulo óptimo.

Este comportamiento de la curva se debe principalmente a la posición del sol a lo largo de las distintas estaciones. En la época veraniega el sol se encuentra en una posición con mayor altura sobre el horizonte, esto se traduce en una radiación solar directa mayor. Por otro lado, durante la estación invernal el sol se encuentra a una menor altura sobre el horizonte

provocando una disminución de la solar directa y provocando un aumento de la radiación difusa.

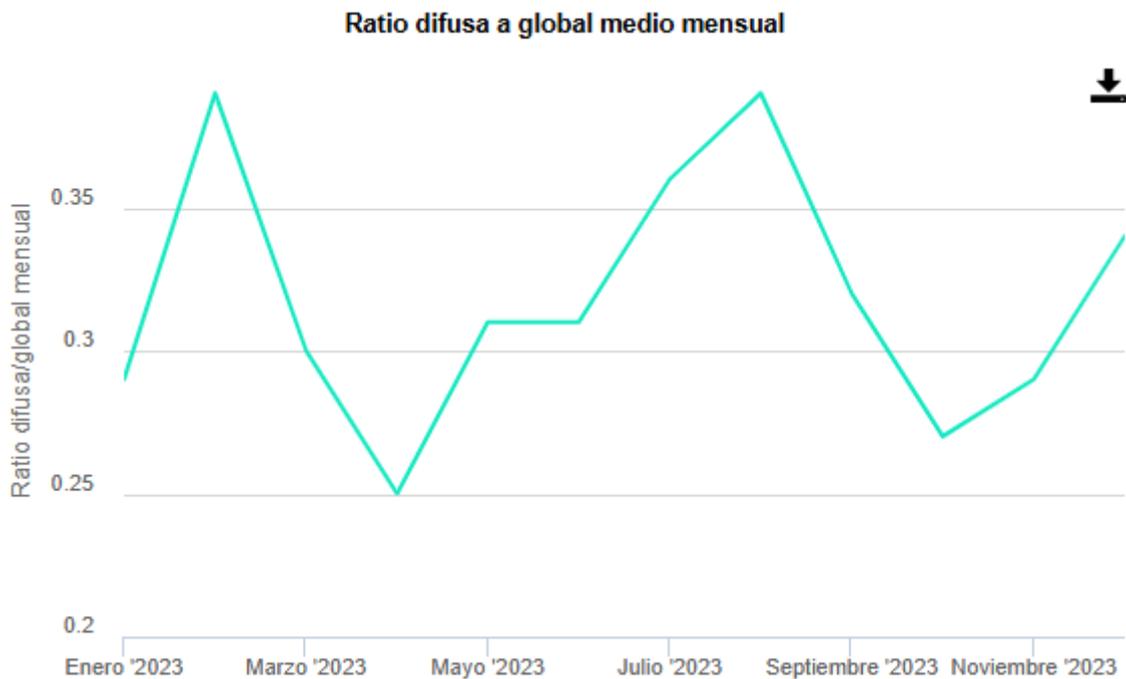


Ilustración 33. Ratio difusa a global medio mensual en Almería. Fuente: PVGIS. c. 2024

Observando la gráfica de la radiación difusa se observa este fenómeno previamente comentado. Asimismo, la variación estacional es notable y salta a la vista a lo largo de un año. Los meses que presentan mayor radiación difusa son en enero, febrero, diciembre y agosto. Sorprendentemente el mes de agosto presenta una radiación difusa mayor que en diciembre, puede explicarse por su localización en el sur de España con cielos despejados y mucho sol. Por otro lado, los meses con menor radiación difusa son los meses de abril y octubre.

Este fenómeno se puede explicar con por las nubes presentes en el cielo. En abril abundan las lluvias, al igual que en octubre y noviembre. Estaciones que corresponden a la primavera y al otoño, donde la radiación difusa aumenta.

4.1.1.2 Temperatura ambiente

La temperatura es un fenómeno que influye en la eficiencia de nuestra planta solar fotovoltaica y por ello es importante hacer un previo análisis.

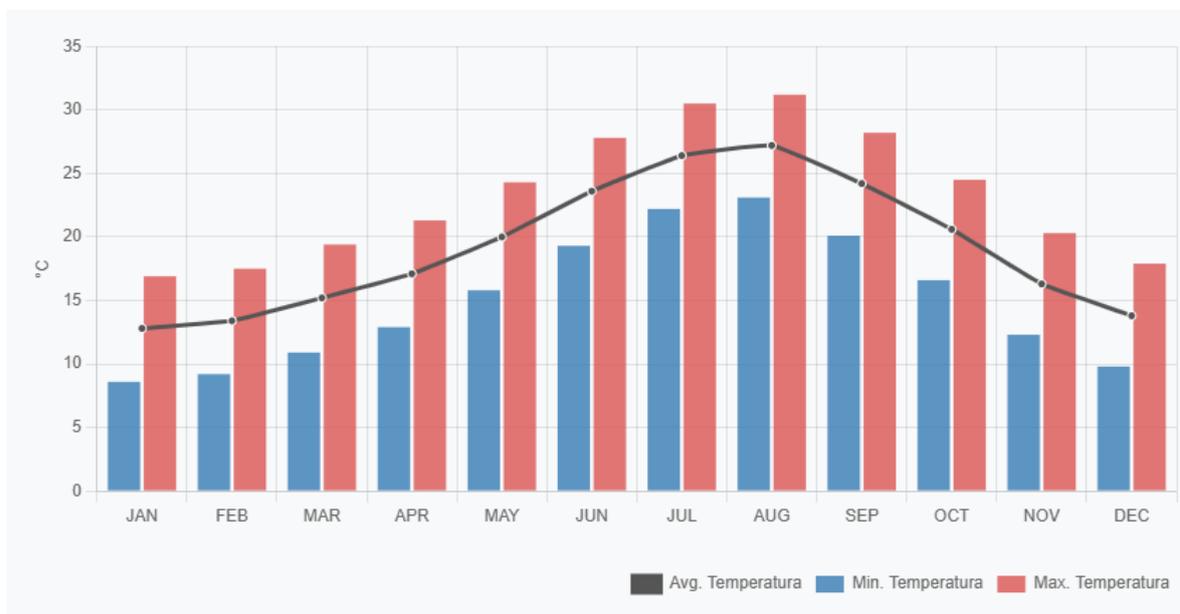


Ilustración 34. Temperatura media mensual en Almería. Fuente: Meteosat. c. 2024

La temperatura media en el periodo veraniego es de 27°C alcanzando máximas de 32°C. Es importante recalcar que se presenta una variación de temperatura a lo largo del año significativa. La temperatura ambiente llega a alcanzar valores de hasta 8°C en el periodo invernal. Esta variación se debe a la posición del sol en el cielo y la duración de horas de sol diarios. La cantidad de radiación solar durante el verano aumenta por la posición del sol, a más altura con respecto al horizonte. En cambio, para los meses de invierno la posición del

sol es menor con respecto el horizonte y eso influye en la temperatura media. Esto influirá en el diseño de nuestra planta. La radiación solar que recibe durante el invierno será menor, así como la temperatura.

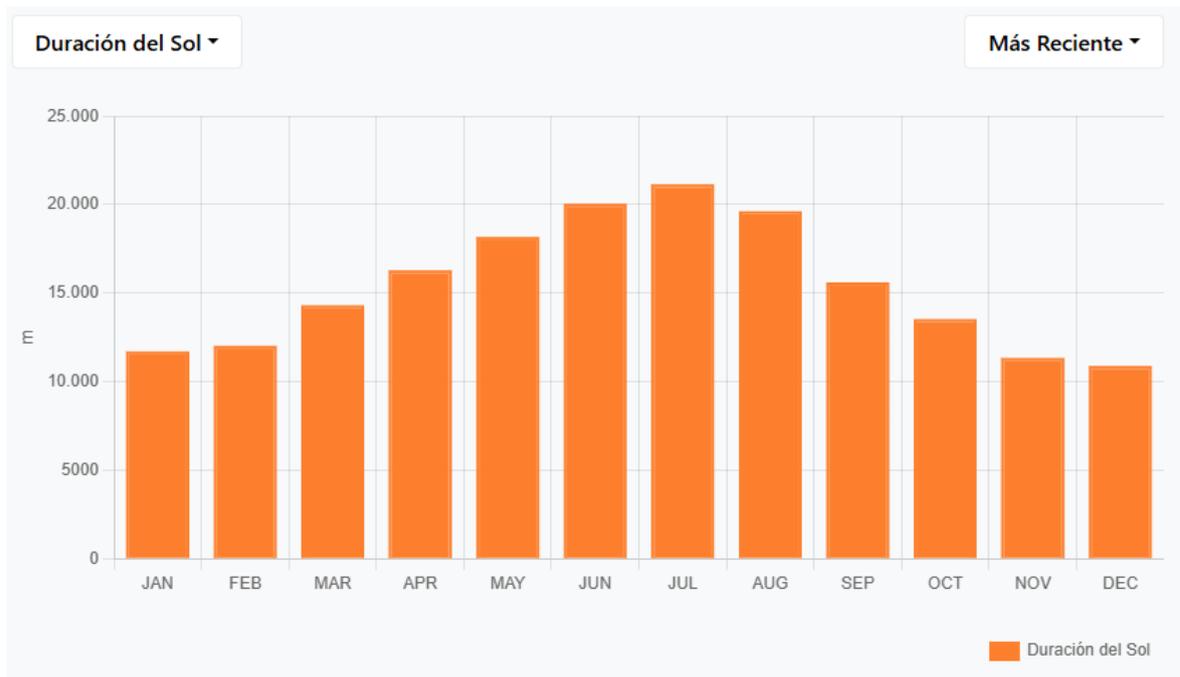


Ilustración 35. Duración del sol por meses. Fuente: Meteosat. c.2024

4.1.1.3 Velocidad del viento

Otro de los factores que se tienen en cuenta en el diseño de la planta fotovoltaica (FV) es el viento. En función de la velocidad del viento se levantará en mayor o menor cantidad polvo, hojas o suciedad que pueden afectar a la eficiencia de nuestros módulos.

Wind-force per Day (enero 2017 - diciembre 2023)						
En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
14.5	15.7	16.7	16.5	15.1	14.2	[km/h]
99	100	99	99	99	97	Disponibilidad de datos[%]
Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic	
13.1	13.4	13.7	13.5	14.1	14.5	[km/h]
100	99	100	100	100	100	Disponibilidad de datos[%]
promedió valor (enero 2017 - diciembre 2023) : 14.6 km/h						

Ilustración 36. Velocidad del viento mensual. Fuente: Woespaña. c.2024

En la tabla se puede apreciar como a lo largo del año pueden presentar variabilidad en algunos meses. Se observa que en el mes de febrero, marzo y abril el viento alcanza picos altos teniendo una media de 16,7 km/h para marzo. Los valores fluctúan de 13,1 km/h en el mes de julio hasta los 16,7 km/h del mes de marzo. La media es de 14,6 km/h reflejando que no hay una gran diferencia entre la media máxima y mínima.

4.1.1.4 Claridad para las horas de la mañana y la tarde

Principalmente el índice de claridad afecta al rendimiento de nuestras placas por varios motivos. En primer lugar, por el ángulo de incidencia de luz solar, puesto que durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, cuando el sol está más bajo en el horizonte y reduce la cantidad de energía que puede captar la placa. En segundo lugar, existirá menor radiación solar en horas tempranas y tardías. En tercer lugar, el clima y la nubosidad afectaría al rendimiento de esta. La niebla y la reducción de la claridad disminuye nuestra generación de energía.

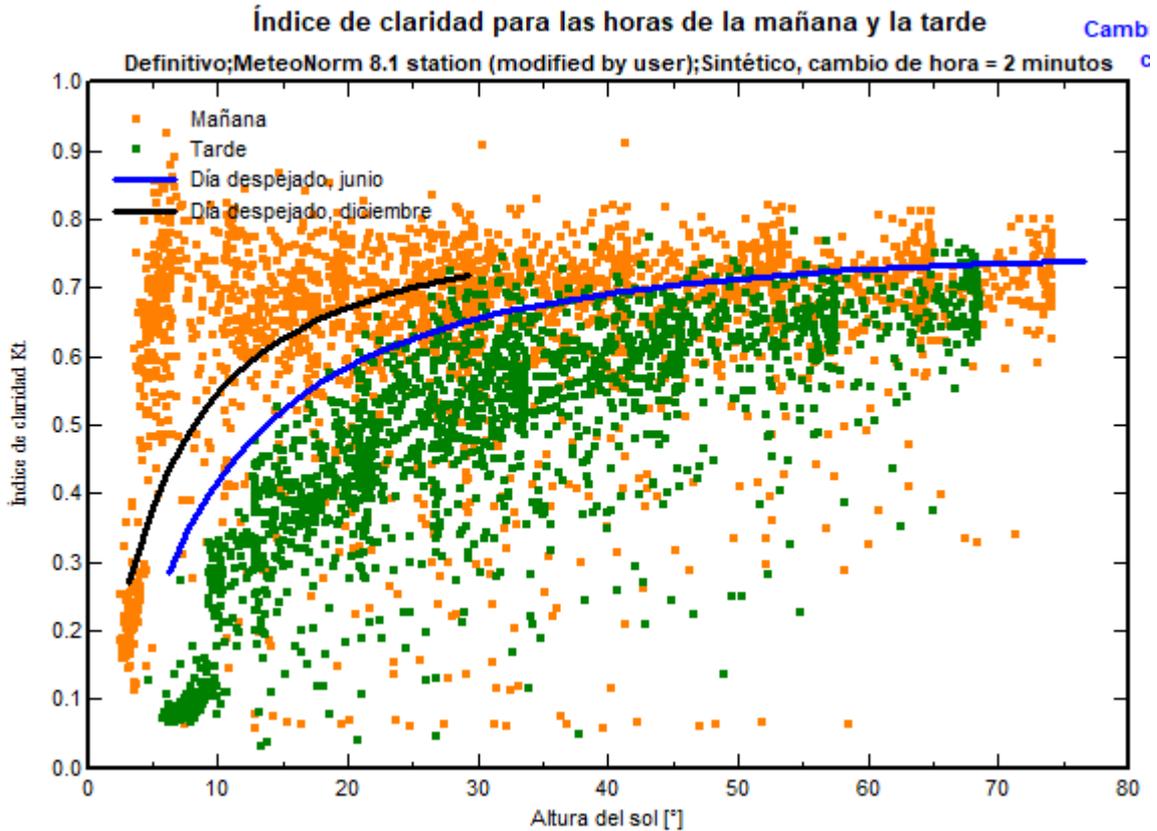


Ilustración 37. Índice de claridad de Almería. Fuente: PVSYST, elaboración propia. 2024.

- **Conclusión**

Por lo tanto, teniendo todos estos factores en consideración podremos hacer un diseño óptimo con el software para la simulación de nuestra instalación: PVsyst. Como adelanto a lo que se verá en los siguientes apartados, las placas solares que tendrán 507 kWp y a continuación se describirá el cálculo de los componentes y materiales de la construcción. Es bueno recordar que la instalación fotovoltaica tendrá como primera instancia la seguridad y asegurándose la correcta instalación con los materiales de la mejor calidad posible. Se aprovechará la alta claridad del cielo de Almería y se instalarán las placas fotovoltaicas con su previo diseño y estudio.

Adelantándonos a los cálculos previos se adjunta una imagen de lo que sería la producción de nuestras placas los distintos meses del año, sabiendo que en la época veraniega habrá más sol y se producirá más energía.

En apartados siguientes se comparará la demanda energética de la nave para un análisis más detallado. No obstante, se concluye que la instalación de las placas ayudara a nuestra PYME. A continuación, en los próximos apartados se seguirá comentando las características de la planta.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO

Tabla 5. Parámetros de la instalación. Fuente: elaboración propia. 2024

PARÁMETROS DE LA INSTALACIÓN	
POTENCIA NOMINAL	500,00 kWh
TIPO DE CONEXION	Red interior
TENSION	400 V
CONSUMIDOR	Individual
CONFIGURACION	A (EdM Bidireccional en PF)
EXCEDENTES	No
COMPENSACIÓN	No

4.1.3 NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN

Todos estos artículos que se nombraran a continuación han sido correctamente referenciados puesto que se han copiado y pegado directamente de la normativa española:

1. **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de autoconsumo de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, núm. 83, de 6 de abril de 2019.
2. **Real Decreto 1699/2011**, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. *BOE*, núm. 289, de 2 de diciembre de 2011.
3. **Real Decreto 1955/2000**, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. *BOE*, núm. 310, de 27 de diciembre de 2000.
4. **Real Decreto 842/2002**, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. *BOE*, núm. 224, de 18 de septiembre de 2002.
5. **Real Decreto 314/2006**, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *BOE*, núm. 74, de 28 de marzo de 2006.
6. **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. *BOE*, núm. 140, de 10 de junio de 2014.

7. **Real Decreto 1627/1997**, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las obras de construcción. *BOE*, núm. 256, de 25 de octubre de 1997.
8. **Real Decreto 485/1997**, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. *BOE*, núm. 97, de 23 de abril de 1997.
9. **Real Decreto 773/1997**, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. *BOE*, núm. 140, de 12 de junio de 1997.
10. **Real Decreto 1215/1997**, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. *BOE*, núm. 188, de 7 de agosto de 1997.
11. **Real Decreto Legislativo 1/2016**, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación. *BOE*, núm. 316, de 31 de diciembre de 2016.
12. **Real Decreto 1110/2007**, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico. *BOE*, núm. 224, de 18 de septiembre de 2007.
13. **Real Decreto-ley 7/2006**, de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético. *BOE*, núm. 151, de 26 de junio de 2006.
14. **Ley 54/1997**, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. *BOE*, núm. 285, de 28 de noviembre de 1997.

15. **Ley 15/2012**, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. *BOE*, núm. 312, de 28 de diciembre de 2012.
16. **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. *BOE*, núm. 269, de 10 de noviembre de 1995.
17. **Ley 34/2007**, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. *BOE*, núm. 275, de 16 de noviembre de 2007.
18. **Ley 82/1980**, de 30 de diciembre, sobre conservación de la energía. *BOE*, núm. 4, de 5 de enero de 1981.
19. **Ley 24/2013**, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. *BOE*, núm. 310, de 27 de diciembre de 2013.
20. **Orden de 5 de septiembre de 1985**, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para el funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5.000 kVA y centrales de autogeneración eléctrica. *BOE*, núm. 225, de 19 de septiembre de 1985.
21. **Normas particulares de la compañía distribuidora para Instalaciones de Media y Baja Tensión.**
22. **Normas UNE de aplicación:**
 - UNE-EN 61194:1997, parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos.
 - UNE-EN 61725:1998, Expresión analítica para los perfiles solares diarios.
 - UNE-EN 61277:2000, Sistemas fotovoltaicos terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía.

- UNE-EN 61724:2000, Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis.
- UNE-EN ISO 9488:2001, Energía solar. Vocabulario.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Tabla 6. Características de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia. 2024

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	
FV Potencia Pico Instalada	507 kWp
N.º de Módulos	913
Módulos Fovovoltaicos	LONGI, LR5-72HPH-555M
Potencia Nominal	500.000 W _n
N.º Inversores	5
Inversor	SUN2000-100KTL-M2

Es importante mencionar que el informe de PVSYST, el cual se menciona y justifica el diseño. El informe se encuentra en los ANEXOS.

4.2.1 DISEÑO

En cuanto a los datos meteorológicos se han extraído desde la aplicación de PVSYST. El albedo, que es la radiación reflejada en el terreno que acaba incidiendo en la cara trasera de los paneles solares se ha elegido el recomendable para zonas urbanas (0,2). En cuanto a las condiciones de diseño seguirá normativa IEC y el límite de pérdida de sobrecarga para el diseño no nos interesa puesto las instalaciones ya están sobredimensionadas. Puesto que la relación entre la potencia en CA y en CC o lo que es lo mismo, la potencia instalada en los paneles (potencia de pico) y la potencia instalada en inversores. Cuando esta ratio es mayor

que 1 habrá pérdidas de sobrecarga. Aunque como ya se está optimizando el sistema no nos compensa limitarlo y por ello se fija en 20%.

Otros parámetros de diseño

<p>Voltaje máx. conjunto</p> <p><input checked="" type="radio"/> IEC (generalmente 1000 V)</p> <p><input type="radio"/> UL (generalmente 600 V)</p>	<p>valor μVoc</p> <p><input checked="" type="radio"/> Desde modelo de un diodo</p> <p><input type="radio"/> Desde especificación</p>	<p>Limite la pérdida de sobrecarga para el diseño <input type="text" value="20.0"/> % <input type="checkbox"/></p>
<p>Modelo de transposición para este proyecto</p> <p><input type="radio"/> Modelo de Hay (robusto)</p> <p><input checked="" type="radio"/> Modelo Pérez-Ineichen (sofisticado)</p>	<p>Referencia de potencia de pérdidas de CA</p> <p><input checked="" type="radio"/> PNomFV (ca) en STC</p> <p><input type="radio"/> PNom (inversores)</p>	
<p>Tratamiento Circumsolar</p> <p><input type="radio"/> Incluido en difuso</p> <p><input checked="" type="radio"/> Tratamiento separado</p>		

Ilustración 38. Informe PVSYSY. Fuente: elaboración propia. 2024

Se utilizará el ángulo de 36, 8° (el óptimo, previamente calculado). Con este ángulo ya tengo el factor de transposición que es relación entra la potencia que dan los paneles con una orientación determinada con respecto a la que daría con un plano horizontal sería FT=1, conforme se le da más inclinación es distinto. Para optimizar el óptimo de inclinación con respecto al energético. Y con un azimut de 0° totalmente hacia el sur.

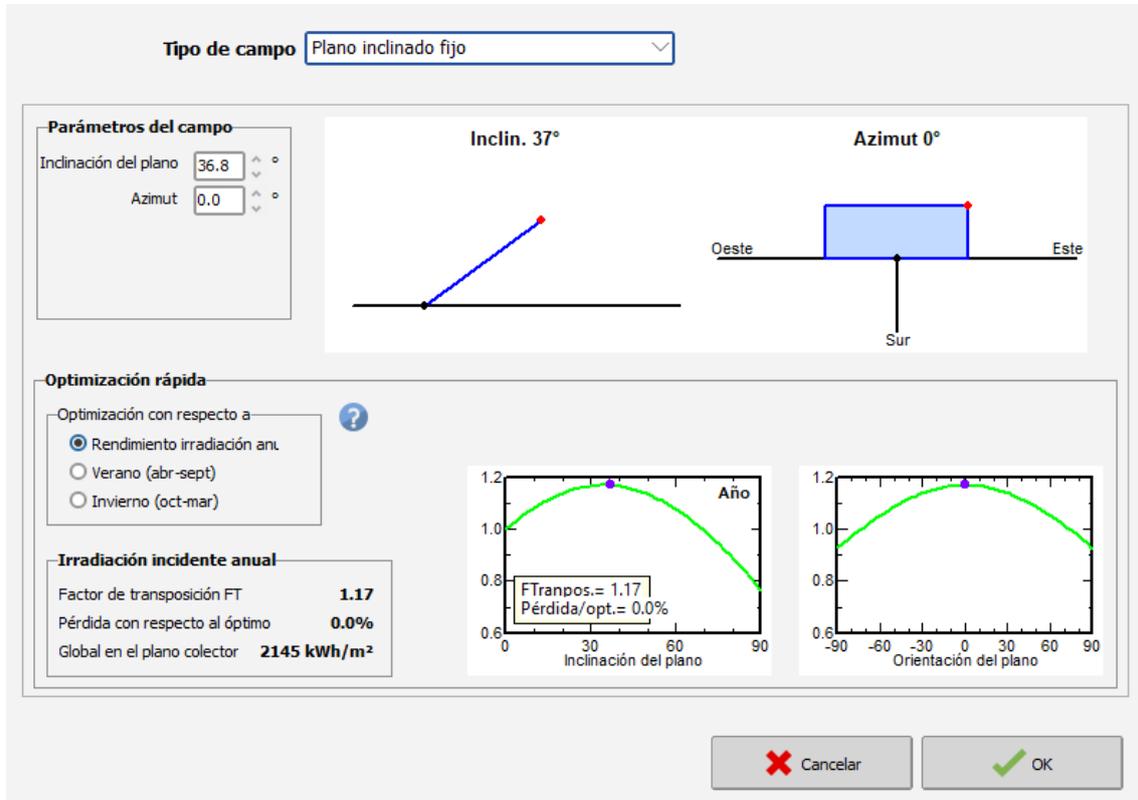
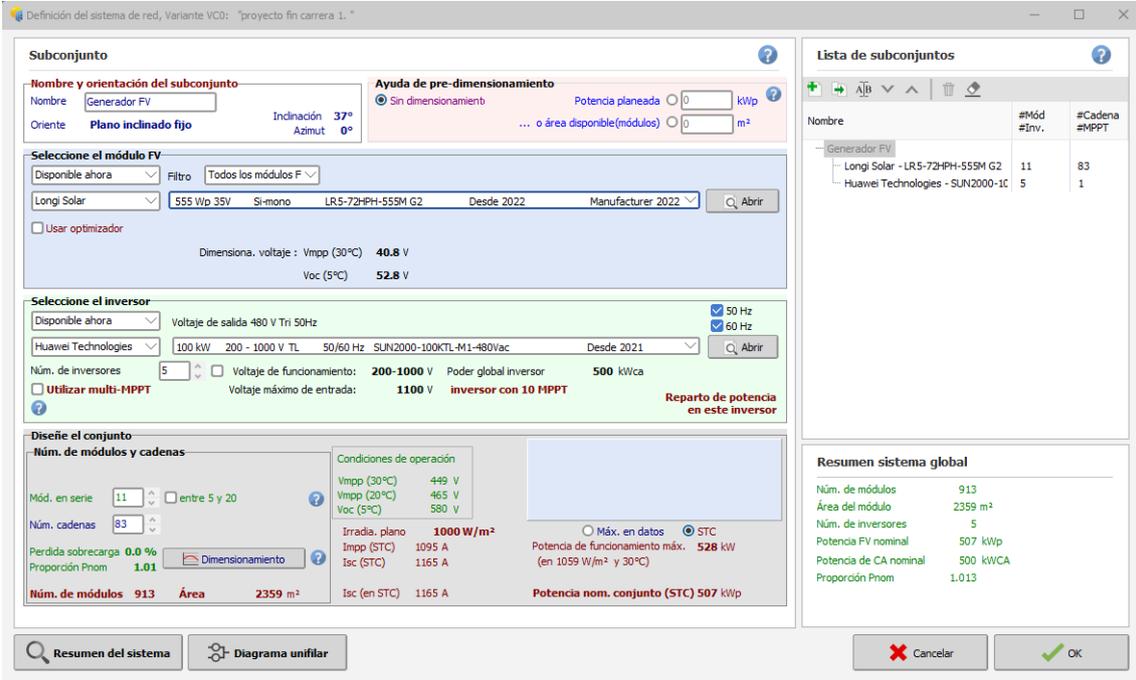


Ilustración 39. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024



Definición del sistema de red, Variante VCO: "proyecto fin carrera 1."

Subconjunto

Nombre y orientación del subconjunto
Nombre:
Orientación: **Plano inclinado fijo** Inclinación: 37° Azimut: 0°

Ayuda de pre-dimensionamiento
 Sin dimensionamiento Potencia planeada: kWp
... o área disponible(módulos) m²

Selección del módulo FV
Disponibles: Longi Solar, 555 Wp, 35V, Si-mono, LRS-72#PH-555M G2, Desde 2022, Manufacturer 2022
Usar optimizador:

Dimensiones: Voltaje: Vmpp (30°C) **40.8 V**
Voc (5°C) **52.8 V**

Selección del inversor
Disponibles: Huawei Technologies, 100 kW, 200 - 1000 V TL, 50/60 Hz, SUN2000-100KTL-M1-480Vac, Desde 2021
Núm. de inversores: Voltaje de funcionamiento: **200-1000 V** Poder global inversor: **500 kWca**
 Utilizar multi-MPPT Voltaje máximo de entrada: **1100 V** **inversor con 10 MPPT** **Reparto de potencia en este inversor**

Diseño del conjunto

Núm. de módulos y cadenas
Mód. en serie: entre 5 y 20
Núm. cadenas:

Perdida sobrecarga: **0.0 %**
Proporción Pnom: **1.01** **Dimensionamiento**

Condiciones de operación
Vmpp (30°C): 449 V
Vmpp (20°C): 465 V
Voc (5°C): 580 V
Irradia. plano: **1000 W/m²**
Imp (STC): 1095 A
Isc (STC): 1165 A
Isc (en STC): 1165 A

Potencia de funcionamiento máx.: **528 kW** (en 1059 W/m² y 30°C)
Potencia nom. conjunto (STC) 507 kWp

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Longi Solar - LRS-72#PH-555M G2	11	83
Huawei Technologies - SUN2000-1C	5	1

Resumen sistema global

Núm. de módulos	913
Área del módulo	2359 m²
Núm. de inversores	5
Potencia FV nominal	507 kWp
Potencia de CA nominal	500 kWCA
Proporción Pnom	1.013

Resumen del sistema Diagrama unifilar Cancelar OK

Ilustración 40. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

De forma más aproximada se usa el envejecimiento para la simulación para las pérdidas detalladas. Se simula con una indisponibilidad de un 0,3%, un total de 1,1 días/año para mantenimiento o algún incidente. Asimismo, unas pérdidas óhmicas de 1,5%. El resto de los parámetros se dejan por defecto.

Parámetros detallados de pérdidas del campo FV

Envejecimiento		Indisponibilidad		Corrección espectral	
Parámetro técnico	Pérdidas óhmicas	Calidad del módulo - LID - Desajuste	Pérdida de suciedad	Pérdidas IAM	Auxiliares
Circuito CC: pérdidas óhmicas en el conjunto					
Especificado por					
<input type="radio"/> Res. de cableado global	6.17 mΩ	<input type="checkbox"/> Calculada	Computación detallada ?		
<input checked="" type="radio"/> Fracción pérdida en STC	1.50 %	<input checked="" type="checkbox"/> Defecto			
Caída de tensión a través del diodo en serie: 0.7 V <input checked="" type="checkbox"/> Defecto					
Pérdidas CA después del inversor					
Circuito CA: inversor al punto de inyección (por inversor)					
<input checked="" type="checkbox"/> Utiliza pérdida óhmica del circuito CA	<input checked="" type="radio"/> Por inversor ?	<input type="radio"/> Sistema completo			
Longitud del inversor a inyección	0.0 m	Sección cables	35 mm ² ?		
Fracción pérdida en STC	0.00 %	<input checked="" type="radio"/> Cobre	<input type="radio"/> Alu		
STC: Pca = 99.2 kW, Vca = 480 V Tri, I = 119.4 A					
Caída de tensión en STC: 0.0 V (0.00%)					
<input type="checkbox"/> Utiliza uno o varios transformadores MT					
<input type="checkbox"/> Utiliza un transformador de AT					
Resumen del sistema		Diagrama unifilar		Gráfico de pérdidas	
		Cancelar		OK	

Ilustración 41. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

Y tomando los datos obtenidos de manera manual tenemos:

Mes	Factor Relativo	Producción Mensual Sin Ajustar (kWh)	Producción Mensual Ajustada (kWh)
Enero	0,8	61651,35	49321,08
Febrero	0,85	61651,35	52403,6475
Marzo	1	61651,35	61651,35
Abril	1,2	61651,35	73981,62
Mayo	1,3	61651,35	80146,755
Junio	1,4	61651,35	86311,89
Julio	1,5	61651,35	92477,025
Agosto	1,4	61651,35	86311,89
Septiembre	1,3	61651,35	80146,755
Octubre	1,1	61651,35	67816,485
Noviembre	0,9	61651,35	55486,215
Diciembre	0,8	61651,35	49321,08

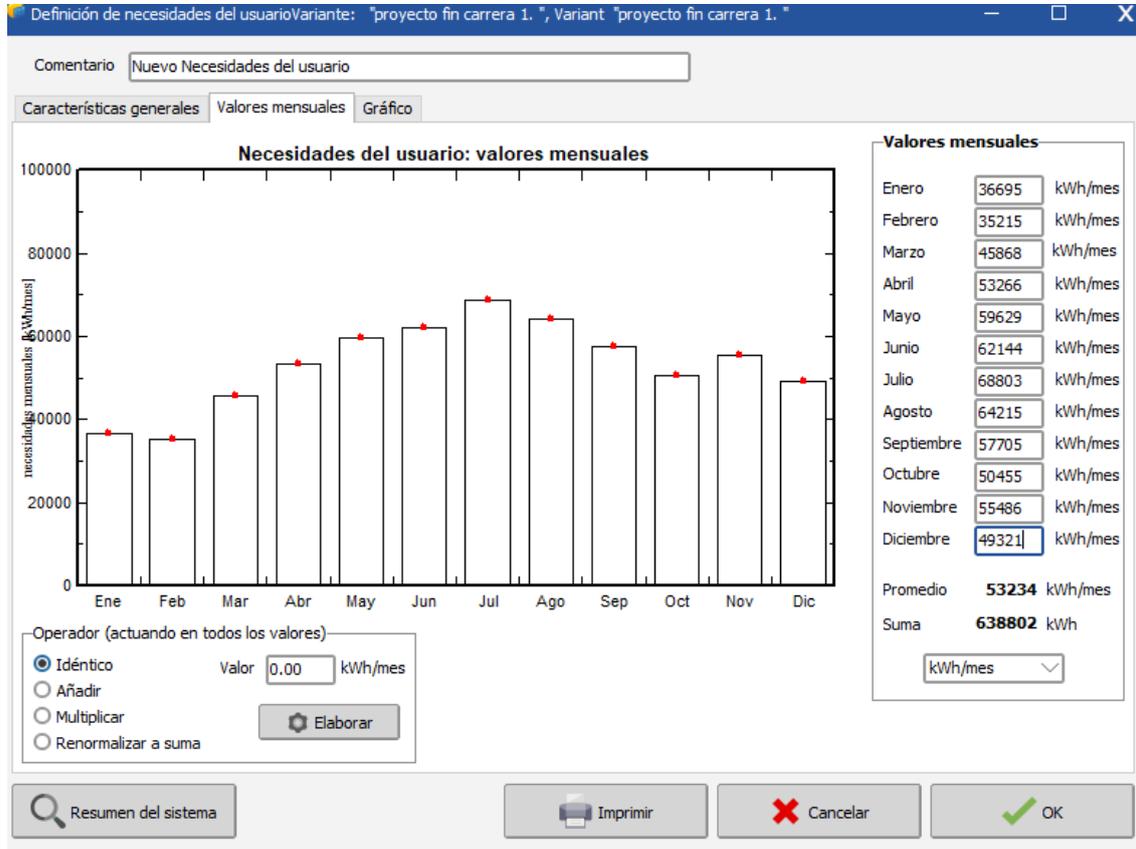


Ilustración 42. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

Extrayendo finalmente nuestro informe dándole a simular.

4.2.2 ESPACIO DE LA CUBIERTA DE LA NAVE UTILIZADA

El área de un módulo será 227,8 cm x 113,4 cm. Por tanto, tendrá un área utilizada de 2583 m². No obstante sin márgenes se nos queda en número de módulos por área de cada módulo que es:

$$\text{Área}_{total\ sin\ margenes} = 913 \times 2583 = 2359\ m^2$$

Si se le añade un margen de 15% para mantenimiento, ventilación y accesos:

$$\text{Área}_{total\ sin\ margenes} = 2359 \times 1,15 = 2711\ m^2 \quad [1]$$

Total PV power	
Nominal (STC)	507 kWp
Total	913 modules
Module area	2359 m ²
Cell area	2189 m ²

Ilustración 43. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

Se ha optimizado el área disponible para hacer una instalación con la mayor eficiencia y producción, resultando a un uso de 2711 m².

4.2.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA CON LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA

Adelantándonos al resto de datos que serán expuestos a continuación se realiza un análisis de la demanda con la producción estimada de la planta. Para un previo análisis y comprobación de que la planta reducirá el consumo energético de la nave. A continuación, se aportan datos de nuestra planta:

- Ubicada en Almería
- Inclinación de 36,83° de las placas

- FV potencia pico instalada de 506.715 Wp.
- Radiación Solar promedio (Hsp): 5 horas de sol pico al día (promedio de Almería)
- Eficiencia estimada del sistema incluyendo perdidas por inversores, temperatura, polvo, etc estimada de 0,819 (PR) (dato extraído del informe de PVSYST)
- Días en funcionamiento: 365 días

En primer lugar, se debe calcular la producción anual de nuestras placas.

$$P. \text{ anual (kWh)} = \text{Potencia pico instalada (kWp)} \times Hsp\left(\frac{h}{\text{día}}\right) \times 365 \times PR \quad [2]$$

Sustituyendo en la ecuación, la producción anual es de 739,816.2kWh. Si se divide entre doce meses es 61,651.35kWh/mes. No obstante, a este dato hay que aplicarle un factor de corrección de ajuste por estacionalidad. Según los valores de radiación relativa de Almería quedaría:

Tabla 7. Producción por nuestra planta. Fuente: elaboración propia. 2024

Mes	Factor Relativo	Producción Mensual Sin Ajustar (kWh)	Producción Mensual Ajustada (kWh)
Enero	0,8	61651,35	49321,08
Febrero	0,85	61651,35	52403,6475
Marzo	1	61651,35	61651,35
Abril	1,2	61651,35	73981,62
Mayo	1,3	61651,35	80146,755
Junio	1,4	61651,35	86311,89
Julio	1,5	61651,35	92477,025
Agosto	1,4	61651,35	86311,89
Septiembre	1,3	61651,35	80146,755
Octubre	1,1	61651,35	67816,485
Noviembre	0,9	61651,35	55486,215
Diciembre	0,8	61651,35	49321,08

Por tanto, la producción de nuestra planta por meses sería de la forma:

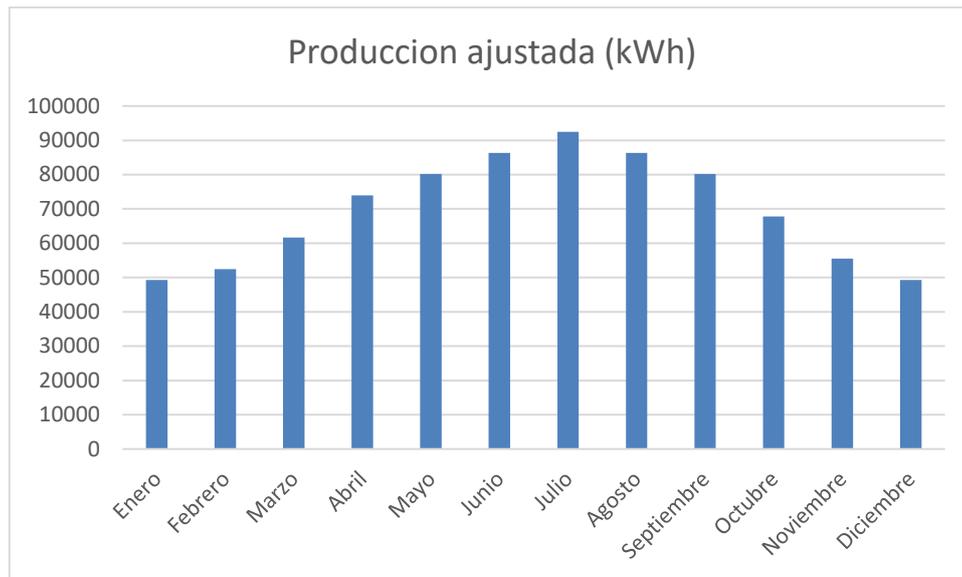


Ilustración 44. Producción ajustada. Fuente: elaboración propia. 2024

Para mayor comprobación se han extraído datos con la aplicación de PVGIS con los extraídos de manera manual. Se concluye por tanto que los cálculos son correctos y se adjunta el informe de PVGIS con los mismos datos:



PVGIS estimates of solar electricity generation :

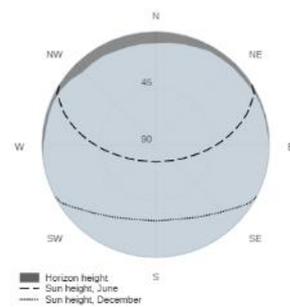
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 36.782 , -2.748
Horizon: Calculated
Database used: PVGIS-SARAH3
PV technology: Crystalline silicon
PV installed: 506 kWp
System loss: 20 %

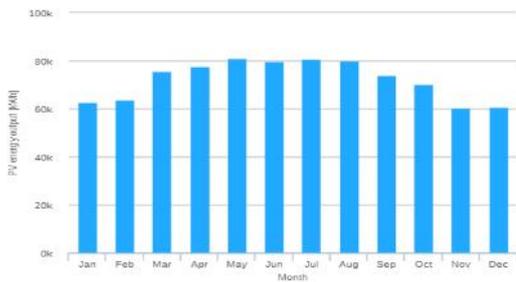
Simulation outputs:

Slope angle: 37 °
Azimuth angle: 0 °
Yearly PV energy production: 866034.16 kWh
Yearly in-plane irradiation: 2321.95 kWh/m²
Year-to-year variability: 17394.67 kWh
Changes in output due to:
Angle of incidence: -2.47 %
Spectral effects: 0.62 %
Temperature and low irradiance: -6.1 %
Total loss: -26.29 %

Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

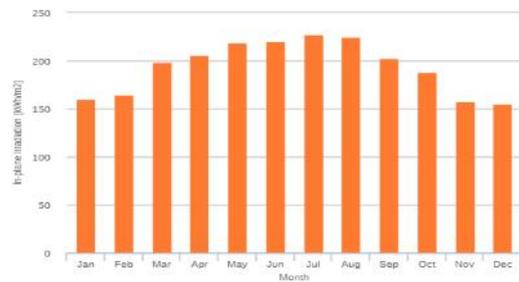


Ilustración 45. Informe PVGIS I. Fuente: Comisión europea, 2024

Monthly PV energy and solar irradiation:

Month	E_m	H(i)_m	SD_m	
January	62749.54	160.11	5669.85	E_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].
February	63818.52	164.13	5386.14	H(i)_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m ²].
March	75645.9	197.98	6857.38	SD_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].
April	77579.2	206.05	5700.16	
May	80848.04	218.85	4698.08	
June	79551.09	219.98	2360.5	
July	80769.15	227.4	2219.51	
August	80044.94	224.34	3773.67	
September	73846.69	202.47	3044.61	
October	70113.82	188.24	4349.27	
November	60491.71	157.62	4095.95	
December	60575.56	154.78	4217.73	

Ilustración 46. Informe PVGIS II. Fuente: Comisión europea, 2024

Extrayendo de los datos del informe PVSYST. la producción normalizada de nuestra planta y los PR quedan así:

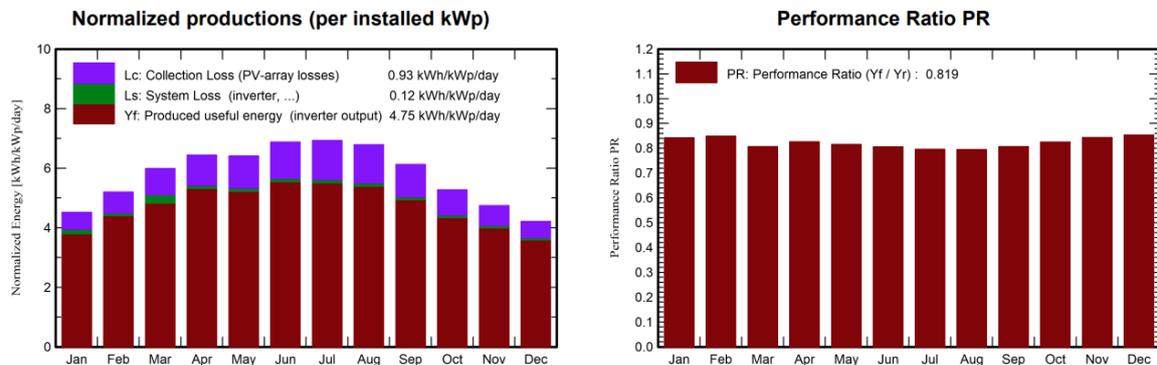


Ilustración 47. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

Con una producción total de 866034 kWh/añual. Ahora se procede a hablar de la demanda para un análisis comparativo demanda-producción. Sabiendo la producción total y la

demanda, dividiéndola $866034,16/3434800=0.2521$ o aproximadamente 25.21% de ahorro energético.

Asimismo, se disponen de los datos reales de consumo de nuestra nave. Como previamente se ha adelantado con la curva de demanda por años ahora se decide mostrar los datos de dos años distintos de la nave de nuestra PYME por los periodos tarifarios.

Demanda Anual Total = 3,434,800kWh

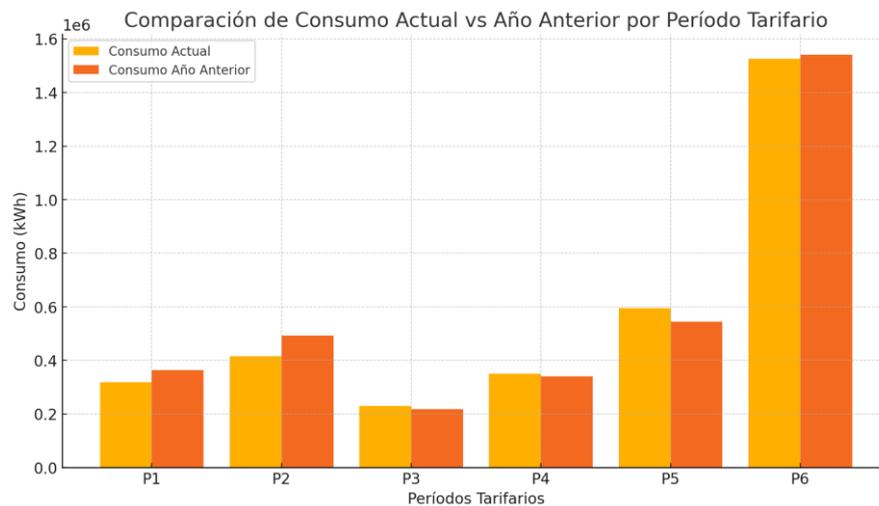


Ilustración 48. Comparación del consumo actual de dos años consecutivos. Fuente: Greenvolt. 2024

Se adjunta una tabla con los datos ordenados:

Tabla 8. Consumo anual. Fuente: greenvolt. 2024

Período Tarifario	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Consumo Anual (kWh)	317878	415755	229902	350184	595046	1526035

En esta gráfica se aprecia que no cambia de manera significativa de un año respecto al otro. Estos periodos tarifarios son franjas horarias establecidas por las propias compañías energéticas. Cada uno de los periodos representan los precios dependiendo de la demanda energética durante ese horario. Este desglose depende de la normativa de cada país. Para España se regula con el sistema de peajes 2.0TD. En concreto:

- P1: representa los periodos punta. Representa el periodo donde los precios de la energía son más caros puesto que existe mayor demanda. Representa de manera general las mañanas y primeras horas de la tarde. Suele ser entre semana excluyendo fin de semanas.
- P2: horas llano. Representa los periodos donde la energía tiene un precio intermedio de coste como la noche y la primera hora de la mañana. Suele ser entre semana excluyendo fin de semanas.
- P3: representa las horas valle. Aquí el precio de la energía es el menor. De manera general son las madrugadas y fin de semanas.
- P4-P6: estos periodos representan periodos tarifarios para grandes consumidores como PYMEs o industrias. Estos periodos están asociados a diferentes niveles de tensión eléctrica, depende del contrato con la empresa.

Más en concreto:

- P4: valle intermedio. Normalmente coincide con periodos nocturnos o fines de semana. En general el horario comprende de 00:00 hasta las 8:00 en días laborables o durante fines de semana o festivos. Este periodo tarifario es de menor coste que el P3.

- P5: Supervalle. Comprende de 2:00 a 6:00 en días laborables siendo una franja más económica durante la madrugada. Suele coincidir con cargas planificadas como vehículos eléctricos o maquinaria.
- P6: Supervalle extendido. Corresponden con horas de muy baja demanda como 00:00 a 8:00 en fines de semana o festivos. Este es el precio más económico de todos los periodos tarifarios.

En resumen, nuestra PYME si consumiera de la red eléctrica durante los periodos más caros (P1), debería de reducir su consumo o consumir su propia energía producida por las placas. Es por ello que se aprecia que el consumo de nuestra PYME se concentra durante el periodo tarifario P6. Como es lógico puesto que es cuando se aprovecha a hacer procesos como envasado, congelación, procesos de producción intensivos y la maquinaria automatizada de clasificación de alimentos o embalaje.

Es, por tanto, un ahorro energético notable para nuestra PYME, hasta un 25.21%.

4.2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

4.2.4.1 Características principales

Se ha optado por elegir los módulos fotovoltaicos de la marca LONGI, modelo: LR5-72HPH-555M y potencia 555 Wp.

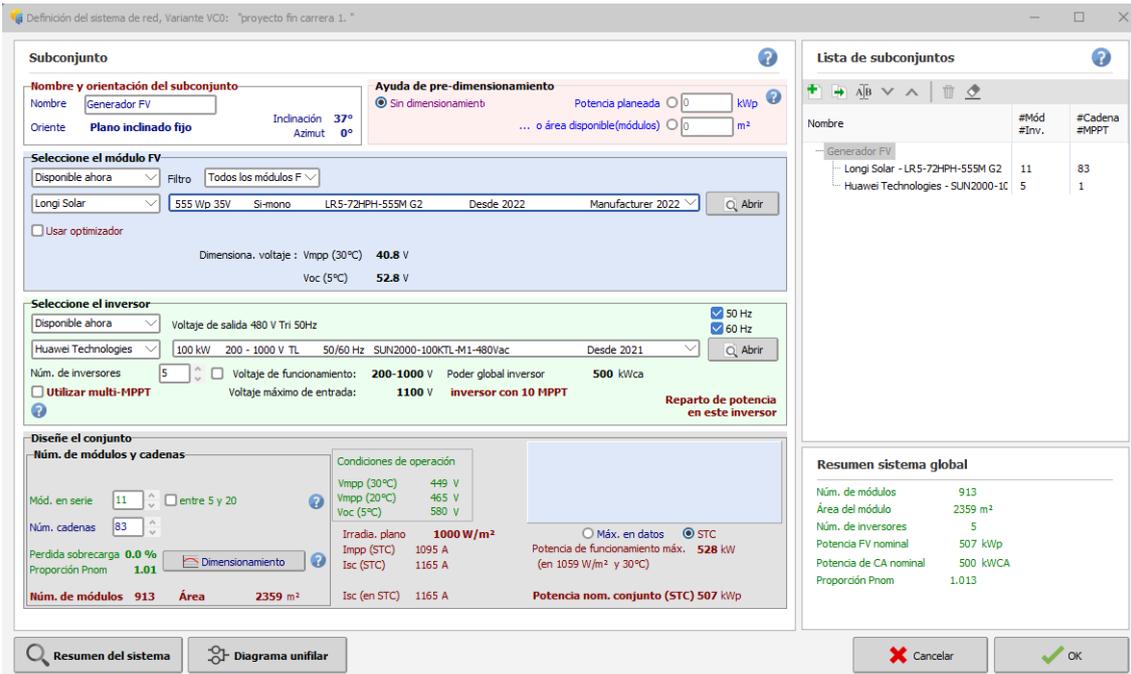
DATOS DEL MODULO SOLAR								
MODELO	Pot nominal (W)	Isc (A)	Voc (V)	Impp (A)	Vmpp (V)	Coefficiente temperatura Isc (A)	Coefficiente temperatura Voc (V)	Max Fuse Rating (A)
LONGI LR5-72HIH-555M	555	14,04	49,95	13,19	42,1	0,050	-0,265	25

Ilustración 49. Datos modulo solar. Fuente: Greenvolt. 2024

Vmp(-10°C) (V)	Vmp(60°C) (V)	Voc(-10°C) (V)	Isc(60°C) (A)	Imp(60°C) (A)
46,00	38,20	54,58	14,29	13,42

Ilustración 50. Datos modulo solar. Fuente: Greenvolt. 2024

Esta elección se debe a que estas placas solares tienen un excelente rendimiento y por sus características técnicas. Para el cálculo del número de módulos se coge la potencia pico instalada entre la potencia del módulo. En nuestro caso será 507 kWp y 555 Wp. Con un total de 11 módulos en serie y 83 número de cadenas. Dando un total de 913 módulos.



Subconjunto

Nombre y orientación del subconjunto: Nombre: Generador FV, Inclinación: 37°, Azimut: 0°

Selección del módulo FV: Disponible ahora: Longi Solar, Filtro: Todos los módulos FV, Modelo: 555 Wp 35V, Si-mono, LR5-72HPH-555M G2, Desde 2022, Manufacturer 2022

Selección del inversor: Disponible ahora: Huawei Technologies, Voltaje de salida: 480 V Tri 50Hz, Modelo: 100 kW, 200 - 1000 V TL, 50/60 Hz, SUN2000-100KTL-M1-480Vac, Desde 2021

Diseño del conjunto: Núm. de módulos y cadenas: Mód. en serie: 11, Núm. cadenas: 83, Núm. de módulos: 913, Área: 2359 m²

Condiciones de operación: Vmp(30°C): 449 V, Vmp(20°C): 465 V, Voc(5°C): 580 V, Irradia. plano: 1000 W/m², Imp(STC): 1095 A, Isc(STC): 1165 A, Potencia nom. conjunto (STC) 507 kWp

Resumen sistema global: Núm. de módulos: 913, Área del módulo: 2359 m², Núm. de inversores: 5, Potencia FV nominal: 507 kWp, Potencia de CA nominal: 500 kWCA, Proporción Pnom: 1.013

Ilustración 51. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

- ***Configuración de la conexión de los módulos***

La configuración de la conexión entre los módulos fotovoltaicos e inversores tiene en cuenta todo lo necesario para que la instalación sea segura y eficiente. Los parámetros que se han tenido en cuenta han sido: el margen de tensiones de MPP del inversor, las tensiones mínimas y máximas, el módulo según temperatura, al igual que la máxima tensión e intensidad que soportan los módulos e inversores. Asimismo, se ha tenido en cuenta la intensidad de corto del módulo y la potencia pico que puede generar. Todo esto para que se pueda manejar con seguridad y optimizar su rendimiento. Gracias al programa de PVsyst calcula automáticamente el número de módulos mínimo y máximo que se pueden conectar. Se muestra como para nuestra conexión en serie, la cual ya fue explicada en el apartado de elementos de una planta fotovoltaica. Nos limita a 5 y 20 módulos en serie. Para entender los cálculos del sistema de manera cualitativa, el sistema utiliza estas dos fórmulas:

$$N_{m\acute{a}x.m\acute{o}d.serie} = \frac{V_{MPP\ m\acute{a}x.inversor}}{V_{OC\ (m\acute{o}d.a-10^{\circ}C)}}$$

Siendo:

- $N_{m\acute{a}x.m\acute{o}d.serie}$: número de módulos máximo en serie conectado a cada string
- $V_{MPP\ m\acute{a}x.inversor}$: tensión máxima del seguidor del punto de máxima potencia.
- $V_{OC\ (m\acute{o}d.a-10^{\circ}C)}$: tensión de circuito abierto de los módulos a $-10^{\circ}C$

El cálculo de la tensión de circuito abierto de las placas a temperatura de $-10^{\circ}C$ se realiza:

$$V_{OC\ (m\acute{o}d.a-10^{\circ}C)} = V_{OC,STC} + \Delta V(-35^{\circ}C)$$

Siendo:

- $V_{OC,STC}$: tensión de vacío del módulo solar medida (STC) con condiciones estándar

- $\Delta V(-35^{\circ}\text{C})$: La constante que indica cómo varía la tensión de un panel solar fotovoltaico en relación con la temperatura. Este valor es proporcionado por el fabricante en la ficha técnica del módulo.

En cuanto al número mínimo de módulos en serie se utiliza:

$$N_{\text{mín.mód.serie}} = \frac{V_{MPP \text{ mín.inversor}}}{V_{MPP (\text{mód.a } 70^{\circ}\text{C})}}$$

Siendo:

- $N_{\text{mín.mód.serie}}$: número de módulos mínima en serie conectado a cada string
- $V_{MPP \text{ mín.inversor}}$: tensión mín. del seguidor del punto de máxima potencia.
- $V_{MPP (\text{mód.a } 70^{\circ}\text{C})}$: tensión de circuito abierto de los módulos a 70°C

El cálculo de la tensión de circuito abierto de las placas a temperatura de 70°C se realiza:

$$V_{MPP (\text{mód.a } 70^{\circ}\text{C})} = V_{MPP,STC} + \Delta V(+45^{\circ}\text{C})$$

- $V_{MPP,STC}$: tensión de vacío del módulo solar medida (STC) con condiciones estándar
- ΔV : La constante que indica cómo varía la tensión de un panel solar fotovoltaico en relación con la temperatura. Este valor es proporcionado por el fabricante en la ficha técnica del módulo.

Concluyendo que el número de módulos en serie mínimo será, gracias al software de PVsyst entre 5 y 20 módulos en serie.



Ilustración 52. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

Este es el gráfico que muestra PVsyst para dimensionar el número de módulos:

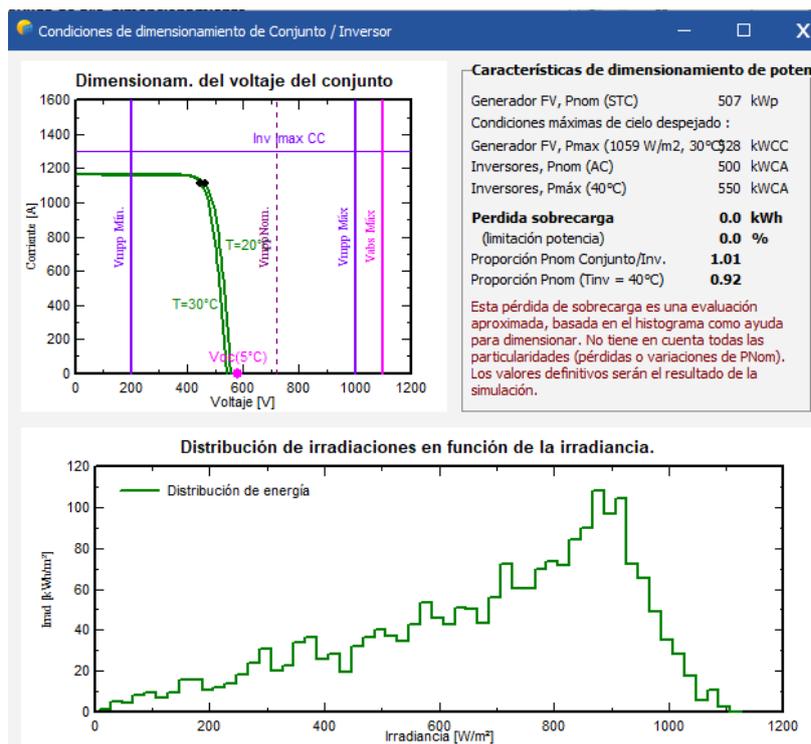


Ilustración 53. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

Concluyendo, por tanto, gracias a muchas iteraciones y consultas que la configuración que se utilizará será la siguiente:

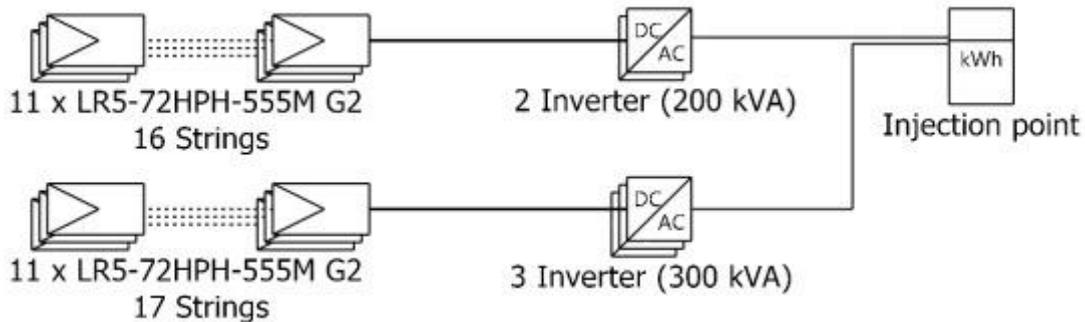


Ilustración 54. Informe PVSYST. Fuente: elaboración propia. 2024

- ***Orientación de los módulos***

La orientación de las placas solares se corresponde con una estructura coplanar con una inclinación de la propia cubierta de 10°.

Para colocar de manera correcta las placas se deben seguir unos pasos. Es un factor crítico a la hora de ayudar a generar mayor cantidad de energía. Para ello debemos tener en cuenta la latitud y la estación del año. Y, por supuesto, la radiosidad del hemisferio que al encontrarnos en Almería se incluirá una ilustración con la trayectoria solar en esta comunidad.

Como norma general para optimizar la producción anual máxima:

$$\text{Inclinación óptima} = \text{Latitud del lugar} \pm \text{Ajuste según estación} \quad [1]$$

En invierno se debe añadir 10° a la latitud para aprovechar las horas de sol más bajas. Mientras que en verano se deben restar estos 10° para aprovechar el sol más alto. Para optimizar una producción anual uniforme se debe utilizar una inclinación igual a la latitud. En el siguiente gráfico de la trayectoria solar en Almería tenemos en el eje Y la altura del sol en grados y en el eje X tenemos el acimut, ángulo de la orientación sobre la superficie de una esfera real.

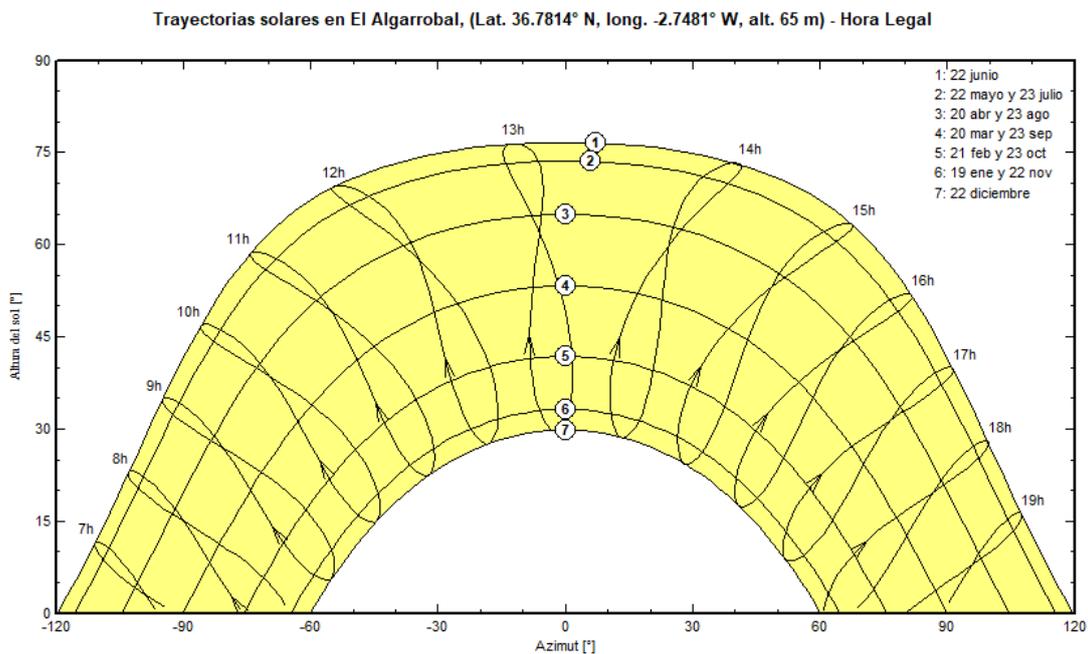


Ilustración 55. Trayectoria solar en Almería. Fuente: PVSYST. c. 2024

Para obtener una inclinación más precisa se puede utilizar la posición solar.

- *Inclinación óptima diaria:*

$$\beta = 90^\circ - \delta \quad [2]$$

Siendo:

- δ : declinación solar que varía en función de la época del año.
- *Declinación solar:*

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \text{sen}\left(\frac{360}{365} \cdot (284 + n)\right) \quad [3]$$

Siendo:

- n: número de día del año (1 de enero = 1; 31 diciembre = 365)

Concluyendo por tanto que el ángulo óptimo para nuestras placas es:

- Declinación solar (δ) para el 1 de enero: **-23.01°** (declinación negativa indica invierno).
- Inclinación diaria (β): **113.01°**.
- Inclinación ajustada para invierno: **123.01°**.
- Inclinación ajustada para verano: **103.01°**.

En nuestro caso nuestras placas serán fijas. Por tanto, concluyendo que una inclinación para unas placas fijas sería igual a la latitud del lugar puesto con esta inclinación se maximizaría la producción dejando en una inclinación de **36, 83°**.

- *Análisis de sombras*

Existen dos tipos de sombras principales:

- *Sombras temporales*

Estas sombras son debidas a la nieve, hojas de árboles, polvo... Estas sombras generan una pérdida del rendimiento y deberá hacerse una limpieza pertinente rutinaria. Se debe evitar rayar el vidrio y por ello se aconseja limpiar en mojado y con la ayuda de una esponja.

- *Sombras por situación*

Estas sombras son producidas por edificios de alrededor o árboles. Para el diseño de nuestra instalación se han tenido en cuenta para colocar las placas solares en situaciones estratégicas para minimizar estas proyecciones de sombras.

- *Sombras por paneles*

Los paneles deben tener una separación mínima entre ellos para no generarse sombras entre ellos. Puesto que nuestra nave tiene un azimut de 0° sí que podrían a llegar a existir sombras. Se asegurará de que ese coeficiente que hemos utilizado es suficiente para que no se generen sombras.

El instituto para la diversificación y ahorro de energía en el pliego de condiciones que nos ofrece tiene una fórmula para evitar estas sombras:

$$d_1 = L \cdot \cos(\beta) \quad [3]$$

$$d_2 = \frac{h}{\operatorname{tg}(61 - \Phi)} \quad [4]$$

Siendo:

- h: altura de la placa solar respecto a la superficie horizontal
- d: distancia mínima entre paneles

- d_1 : proyección del panel sobre superficie horizontal
- d_2 = distancia desde la proyección del panel sobre superficie horizontal hasta el siguiente panel
- Φ = latitud del lugar de localización de la instalación

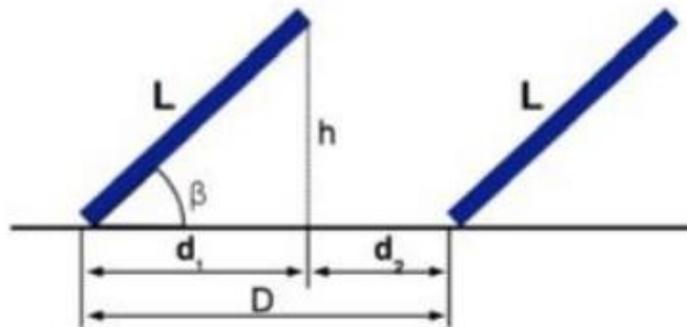


Ilustración 56. Esquema para el cálculo de la distancia mínima entre paneles solares. Fuente: IDAE. c.2024

$$h = L \cdot \text{sen}(\beta) \quad [5]$$

Siendo:

- L: longitud de los paneles solares
- β : ángulo de inclinación de los paneles solares

Los datos que necesitamos son

- ⇒ Localización: Almería
- ⇒ Latitud e inclinación del módulo: $36,8^\circ$
- ⇒ Longitud del módulo: 2278 mm

$$h = L \cdot \text{sen}(\beta) = 1,364 \text{ m}$$

$$d_1 = L \cdot \text{cos}(\beta) = 1,824 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{h}{\text{tg}(61 - \Phi)} = 3,035 \text{ m}$$

$$D = d_1 + d_2 = 4,859 \text{ m}$$

Se concluye por tanto que la separación debe ser de al menos 4,859 metros.

4.2.5 INVERSORES DE RED

Son como hemos visto anteriormente los encargados de transformar la CC en CA, que se encargaran de transformar la energía para su autoconsumo o para la inyección a la red. Para el control de la potencia generada se utilizará la solución de HUAWEI, utilizando 5 inversores modelo SUN2000-100KTL-M2.



Ilustración 57. HUAWEI SUN2000-100KTL-M2 AF CI. Fuente: BayWa r.e. c.2024

La elección de estos inversores se debe a numerosas ventajas que presentan para proyectos de este tipo. A continuación, detallare las ventajas que presentan los inversores elegidos de la marca HUAWEI SUN2000:

- Alta eficiencia

Ambos modelos presentan una eficiencia máxima del 98% minimizando las pérdidas de conversión de CC a CA. Asegurando también un aprovechamiento casi total de la energía generada por las placas solares.

- Compatibilidad con sistemas de autoconsumo y red

Estos inversores pueden configurarse para utilizarse para consumo y para inyección de energía a la red. Esto permite tener flexibilidad al cliente.

- Tecnología de punta

Si el cliente lo necesita tienen la posibilidad de incorporar inteligencia artificial para detectar problemas y mejorar los fallos. También presentan algoritmos avanzados de seguimiento del punto máximo de potencia (MPPT). Todos estos avances tecnológicos maximizan la producción energética hasta en las condiciones más adversas.

- Capacidad de gestión avanzada

Presentan la posibilidad de gestionar las placas con aplicaciones en remoto desde aplicaciones móviles. Así como la gestión de la energía con informes en tiempo real para optimizar su producción energética.

- Seguridad

Presentan protecciones contra sobretensiones y errores de CC y CA. Así como desconexión de emergencia en caso de necesitarlo.

- Capacidad de adaptación al proyecto

Gracias a sus propiedades el M2 es ideal para instalaciones un poco más grandes con 100 kW por inversor. Ofrecen una versatilidad que se adapta a las necesidades del cliente.

- Reducción de costes operativos

Presentan un diseño modular con una baja necesidad de mantenimiento.

- Certificaciones y estándares

Cumplen con los más altos requisitos de inyección a la red y con las normativas nacionales e internacionales. Esto nos permite asegurar una integración segura y legal a nuestra instalación fotovoltaica.

En conclusión, presentan unas dimensiones adecuadas, están amparados por la marca HUAWEI reconocida y que asegura actualizaciones y soporte técnico y de mantenimiento, así como ofrecen una flexibilidad de diseño que permite gestionar de manera más eficiente la generación de energía.

MODELO	Datos de Entrada							
	Tensión máxima de entrada (V)	Intensidad máxima MPPT (A)	Intensidad cortocircuito máximo (A)	Tensión arranque (V)	Tensión máx MPPT	n° MPPT	String MPPT	N° String
HUAWEI SUN2000-100KTL-M2	1100	30	40	200	1000	10	2	20

Ilustración 58. Datos inversores. Fuente: Greenvolt. 2024

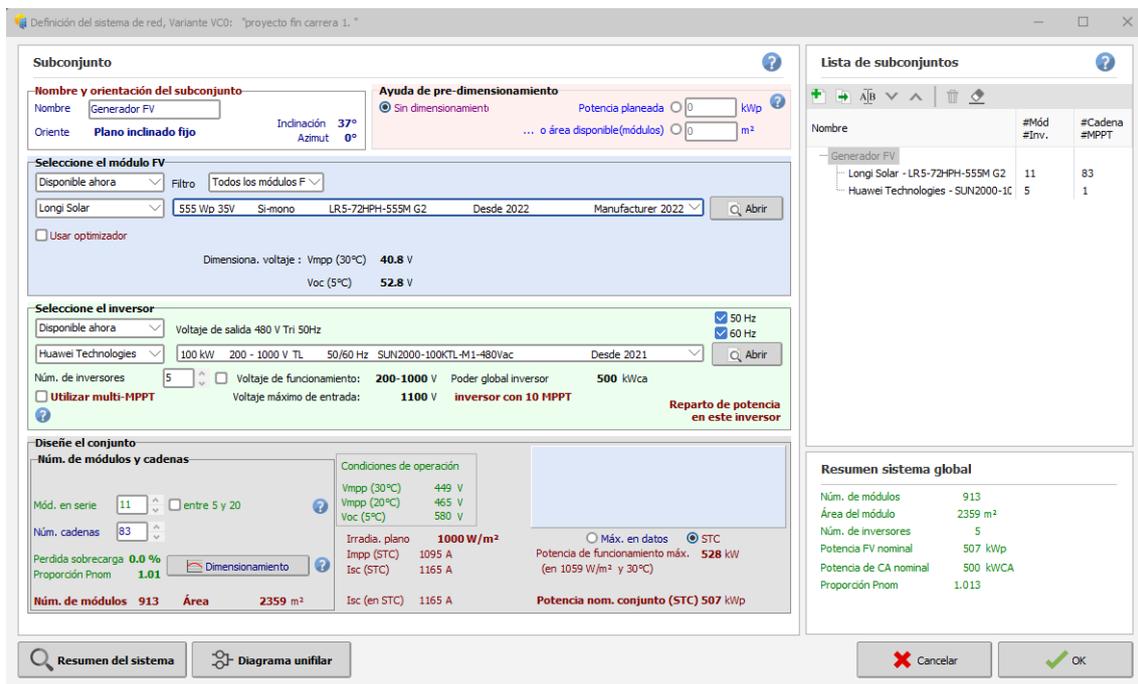
Datos de Salida				
Potencia Activa (W)	Máx. Pot. Activa (W)	Tensión (V)	Intensidad Nominal (A)	Intensidad Máxima (A)
100000	110000	400	144,4	160,4

Ilustración 59. Datos inversores. Fuente: Greenvolt. 2024

Los inversores son los encargados de manejar la potencia nominal. En total presentamos 500 kW. Con 5 inversores aportaremos flexibilidad a la planta y de esta forma se distribuirá la carga de forma eficiente y optimizada.

- 5 inversores SUN2000-100KTL-M2 (cada uno de 100 kW).

La suma de la potencia de todos los inversores hace un total de 500 kW.



Subconjunto

Nombre: Ayuda de pre-dimensionamiento: Sin dimensionamiento

Orientación: **Plano inclinado fijo** Inclinación: 37° Azimut: 0°

Selecione el módulo FV: Longi Solar, 555 Wp 35V, Si-mono, LR5-72HPH-555M G2, Desde 2022, Manufacturer 2022

Dimensiona. voltaje: Vmpp (30°C) 40.8 V, Voc (5°C) 52.8 V

Selecione el inversor: Huawei Technologies, 100 kW, 200 - 1000 V TL, 50/60 Hz, SUN2000-100KTL-M1-480Vac, Desde 2021

Núm. de inversores: 5, Voltaje de funcionamiento: 200-1000 V, Poder global inversor: 500 kWca

Utilizar multi-MPPT: Reparto de potencia en este inversor

Diseño del conjunto: Núm. de módulos y cadenas: Mód. en serie: 11, Núm. cadenas: 83

Condiciones de operación: Vmpp (30°C) 449 V, Vmpp (20°C) 465 V, Voc (5°C) 580 V, Irradia. plano 1000 W/m², Imp (STC) 1095 A, Isc (STC) 1165 A

Resumen sistema global: Núm. de módulos: 913, Área del módulo: 2359 m², Núm. de inversores: 5, Potencia FV nominal: 507 kWp, Potencia de CA nominal: 500 kWCA, Proporción Pnom: 1.013

Potencia nom. conjunto (STC) 507 kWp

Ilustración 60. Informe PVSYS. Fuente: elaboración propia. 2024

4.2.6 PÉRDIDAS

Para asegurar una alta eficiencia de nuestra instalación fotovoltaica en la simulación de PVsyst se han tenido en cuenta las siguientes pérdidas. Entre ellas están afectadas por la reflexión de la luz, la degradación de los materiales o las pérdidas por conexiones de los cables.

- **Temperatura**

La potencia y tensión del módulo está relacionada a la temperatura de la celda. Las condiciones estándar que incluyen una radiación de 1000 W/m² y 25°C de temperatura ambiente son las condiciones STEM bajo las que operaría nuestro módulo con normalidad. Si estas se ven modificadas su tensión e intensidad del módulo se ven alteradas y no actuarán como especifica el fabricante.

Por ello la temperatura afecta directamente al rendimiento de nuestro modulo fotovoltaico, más en concreto con la tensión que luego se traslada en una modificación en la potencia del módulo. Es por ello por lo que si los módulos están en otras condiciones a las STEM que operan con una tensión distinta. El fabricante nos da información de que estos paneles tienen un coeficiente de temperatura en P_{máx} de -0,34%/°C. Todo ello se tendrá en cuenta en la simulación en PVsyst. El parámetro que se deberá fijar es el U-value que hace referencia a la transmitancia térmica del módulo.

$$U = U_c + U_v \cdot v \quad [5]$$

Siendo:

- U_c : con valor de 20 W/m²·K que corresponde con el término relativo a la Temperatura.
- U_v : se considera nulo que corresponde con el término relativo al viento.

- **Óhmicas**

La ley de Joule es el fenómeno físico que afirma que por todo conductor que conduce corriente eléctrica disipa energía en forma de calor produciendo pérdidas.

$$P = i^2 \cdot R \quad [6]$$

Siendo:

- P: potencia
- i: intensidad
- R: resistencia del cable

La simulación tendrá principalmente en cuenta el cableado de CC que conecta los paneles FV con los inversores. Considerando unas pérdidas de 1,3%

- **Pérdidas por degradación inducida por la luz (LID)**

Existe un tipo de pérdida, conocida como LID, que afecta a los módulos y su rendimiento sobre todo con los primeros rayos de sol. Estas pérdidas afectan al rendimiento probado por el fabricante en la fábrica, con respecto su uso real. Esta pérdida por degradación inducida por la luz afecta a la base de nuestra placa, a la oblea fotovoltaica que es la lámina de nuestro material semiconductor, en nuestro caso silicio. Este valor puede alcanzar desde 1% hasta valores rondando el 3% o más.

Este fenómeno es causado durante el proceso de Czochralski. Durante este proceso pequeñas burbujas de oxígeno se incorporan con la fundición del silicio de la oblea. Causando que cuando se ven expuestos a bajas radiaciones, con los primeros rayos de sol, se generan aceptores de dopantes de boro que capturan electrones reduciendo el fenómeno físico fotovoltaico. Se considera un 3,8%.

- **Calidad del módulo**

Este valor de pérdidas óhmicas tiene la característica de que se fija con valor negativo porque corresponde como una ganancia. Se debe a que el fabricante asegura que el módulo que comercializa tiene una potencia superior. Eso significa que el módulo mantiene los niveles iniciales que establece el fabricante en las especificaciones. Con esto, los fabricantes de módulos fotovoltaicos se aseguran de que no pierden eficiencia con el paso de los años.

- **Desajuste**

Otro de los factores que afectan al rendimiento de nuestras placas son por pérdidas por incidencia. Estas pérdidas están referidas a las pequeñas diferencias de las especificaciones del fabricante con el módulo que instalamos. Son causadas principalmente por defectos de fábrica, envejecimiento desigual, sombras parciales, suciedad u otros factores que pueden llegar a afectar a la eficiencia de cada uno de nuestros módulos. Por la gran cantidad de módulos se considera un 3,5%.

- **Suciedad**

Por último, otra de nuestras pérdidas se podría ver afectado por el polvo o elementos que puedan posarse sobre nuestra placa, como heces de animales o hojas de árboles que puedan causar sombras parciales sobre nuestros módulos. Para que la suciedad no se acumule se recomienda una limpieza mensual de los módulos para reducir pérdidas. Se considera un 1,5%, algo elevado, es por ello que se recomienda la limpieza.

Las pérdidas se ven reflejadas en el diagrama de Sankey de nuestra simulación de PVsyst. Gracias a este diagrama podemos apreciar las pérdidas comentadas.

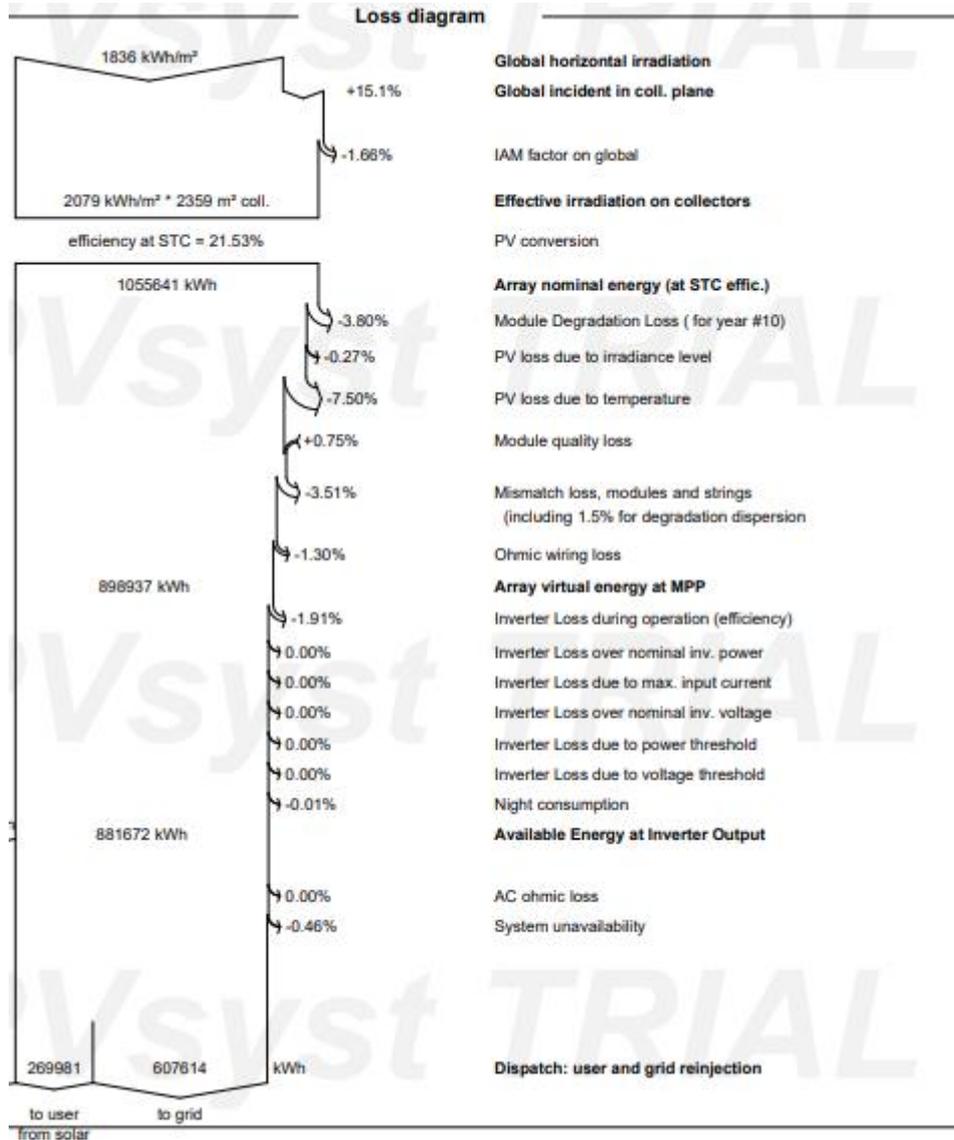


Ilustración 61. Diagrama Sankey, simulación PVsyst. Fuente: elaboración propia. 2024

Asimismo, se aprovecha el diagrama de perdidas para comentar brevemente que la producción de nuestras placas será:

- 269.981 kWh de autoconsumo
- 607.614 kWh inyectada a la red

El sistema automáticamente optimiza que energía inyectar a la red y que consumir en función de los precios tarifarios. Ya que los precios durante el día son más caros y durante la noche son más baratos. Puesto que nuestra PYME presenta un consumo elevado nocturno se concluye que el resultado es correcto.

4.2.7 SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

El sistema de control y seguimiento de la instalación debe exhibir y guardar una serie de datos de información vinculada al estado de la instalación en todo momento.

Se segmenta en tres subsistemas clave:

- *Subsistema de adquisición*: Está compuesto por los componentes que reciben los valores de cada una de las variables a evaluar y los convierten en indicadores de tensión (mV) o de intensidad (mA).

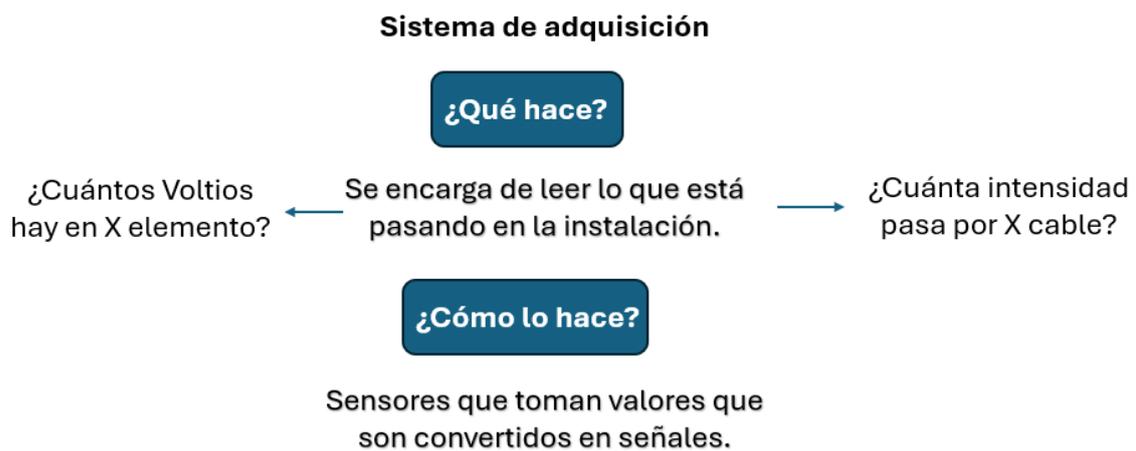


Ilustración 62. Diagrama de estados del subsistema de adquisición. Fuente: elaboración propia. 2024

- *Subsistema de comunicación*: Se compone de los componentes de vinculación entre el subsistema de adquisición y el equipo en el que se llevará a cabo la gestión de los datos información obtenida. Esta conexión puede realizarse de manera local (por medio de RS 485 o por onda portadora) o a distancia (por medio de módem).

Sistema de comunicación

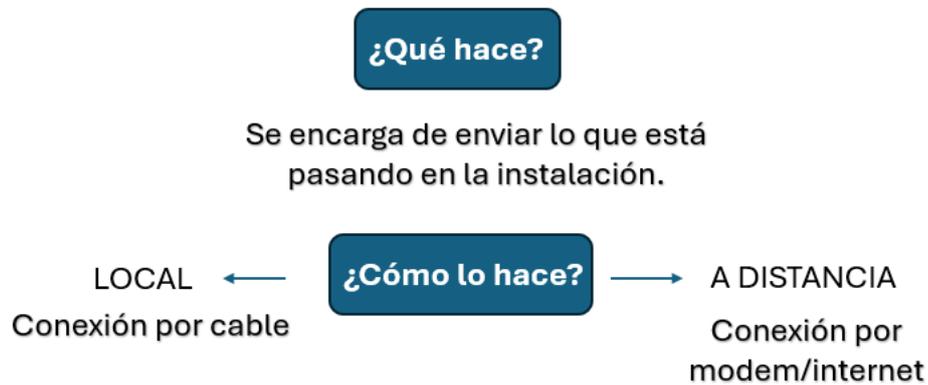


Ilustración 63. Diagrama de estados del subsistema de comunicación. Fuente: elaboración propia. 2024

- *Subsistema de procesamiento de datos:* Estará conformado por un ordenador que reciba información del subsistema de adquisición.

Sistema de procesamiento de datos

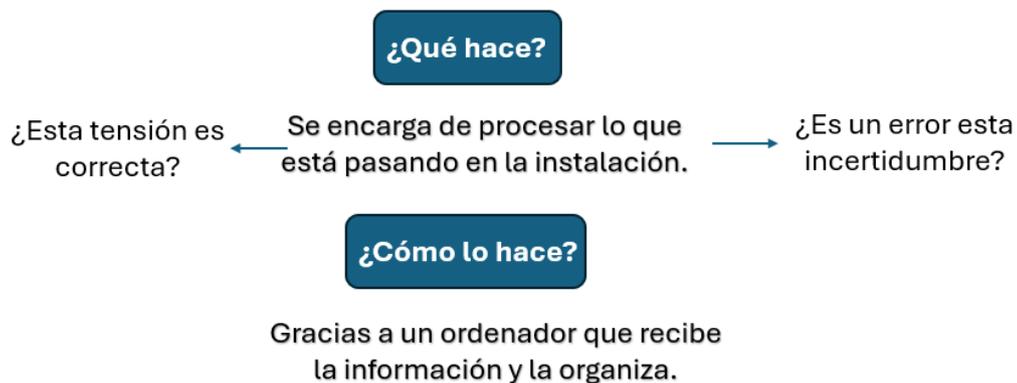


Ilustración 64. Diagrama de estados del subsistema de procesamiento de datos. Fuente: elaboración propia.

4.2.8 SISTEMAS DE MEDIDA

Todas las categorías de uso propio requieren un dispositivo de medición adecuado para determinar los precios, tarifas, tasas y otros gastos de facturación asociados. Por lo general, se requiere un equipo de medición bidireccional en el punto límite o por separado en cada punto. Los equipos utilizados en las instalaciones de generación deben limitarse a registrar la generación neta sólo en circunstancias específicas, como autoconsumo colectivo, instalaciones próximas a la red, tecnología no renovable, cogeneración o residuos.

Los servicios auxiliares de producción definidos en el Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto y en el artículo 3 del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, podrán ser no significativos y no requerir contrato de suministro si cumplen las condiciones de estar ubicados cerca de instalaciones interiores de red, tecnología renovable con potencia inferior a 100 kW y consumir anualmente menos del uno por ciento de la producción total de energía.

4.2.9 CONCLUSIÓN

La instalación fotovoltaica para nuestra PYME cumple con los requisitos más altos de seguridad, eficiencia y normativa. Los materiales y elementos seleccionados son los más adecuados adaptándose y personalizándose a las necesidades del cliente. Se asegura un rendimiento óptimo de los módulos, cableados adecuados y protecciones optimizadas para garantizar el correcto funcionamiento de la planta. Este proyecto no solo reduce la factura energética de la PYME, sino que también contribuye hacia la transición de un futuro más sostenible.

Capítulo 5. COSTE DE LA INSTALACIÓN

Finalmente, después de hacer un análisis exhaustivo a las energías renovables, a las distintas partes que conforman una instalación solar fotovoltaica y la parte técnica del proyecto. Llegamos a lo que el cliente más le preocupa: el presupuesto y costes. La pregunta que primero rondará sobre el cliente es si podrá permitirse la instalación. Pues para ello está este capítulo.

En este capítulo se detallarán los costes de la instalación. Están resumidos en tablas en el anexo II de este documento. Se ha incluido un presupuesto completo de la instalación facilitado por la empresa colaboradora. No obstante, en este capítulo nos centraremos en comentar las partes más importantes, al igual que se hará una conclusión de los resultados.

Para elaborar un presupuesto de la instalación fotovoltaica se dividirá en dos principales secciones: instalación y seguridad y salud. Para finalizar se hará un resumen de todos los costes.

Asimismo, cabe destacar que los precios y datos utilizados han sido cedidos por Greenvolt.

5.1 PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

En este apartado se detallarán los costes de la instalación siguiendo el siguiente orden:

- Módulos fotovoltaicos
- Estructura y soportes
- Inversores y monitorización
- Cuadros y material eléctrico
- Cableado
- Canalización

Se detallarán los materiales utilizados para cada una de estas secciones. Los datos numéricos económicos que no aparezcan en esta sección pueden ser consultados en las tablas del ANEXO II donde se incluye el coste total de los materiales.

5.1.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para la instalación de los módulos fotovoltaicos:

- **Módulo fotovoltaico 550Wp monocristalino 144 células**

Suministro e instalación de módulo fotovoltaico Longi o similar, de 550 Wp, 144 células, totalmente instalado y cableado, medida la unidad instalada. Una cantidad de 913 módulos a 111,00 €/unidad sale a un total de 101.343,00 €

- **Conector MC4-6mm**

Suministro e instalación de conectores tipo MC-4 para conductor de cobre de 6mm², corriente nominal de 30A, tensión máxima de 1000V, grado de protección IP67 y rango de temperatura -40°C a +90°C. Una cantidad de 92 a un precio unitario de 5,4€. Total: 496,8€

5.1.2 ESTRUCTURA Y SOPORTES

- **Estructura metálica coplanar**

Suministro e instalación de estructura metálica, fabricada en aluminio, para montaje coplanar con inclinación y orientación propia de la cubierta. Fabricante de la estructura será Sunfer o similar. Se incluyen pernos de fijación y juntas de estanqueidad, diseñadas para instalaciones fotovoltaicas en cubierta y que garanticen IP65 o superior, además de presores centrales y laterales para la sujeción de los módulos. Se precisará de una unidad que cuesta 20.268,60€.

5.1.3 INVERSORES Y MONITORIZACIÓN

- **INVERSOR HUAWEI SUN2000-100KTL-M2**

Suministro e instalación de inversor Trifásico HUAWEI SUN2000-100KTL-M1 o similar, totalmente instalado y funcionando. Se necesitarán 5 unidades de 3.250€/unidad.

- **SMARTLOGGER 3000A**

Suministro e instalación de equipo de comunicación, totalmente instalado y funcionando. Se necesitará 1 unidad con precio 420€.

- **CONTADOR JANITZA UMG604**

Suministro e instalación de contador de consumos, totalmente instalado y funcionando. Se necesitará 1 unidad con precio 650€.

5.1.4 CUADROS Y MATERIAL ELÉCTRICO

- **Cuadros de protecciones de CC y CA**

Suministro e instalación de cuadro o armario metálico o de PVC, incluyendo carriles, embarrados de circuitos, fusibles para la parte de CC e interruptores automáticos magnetotérmicos y diferenciales y fusibles para la parte de CA, incluyendo descargador de sobretensiones y etiquetado de las protecciones.

5.1.5 CABLEADO

- **CABLE UNIPOLAR H1Z2Z2-K 1,8kV CC 6mm²**

Se utilizan entre otros cables: Cable H1Z2Z2-K con conductor de cobre de 6mm² de sección nominal, instalado bajo tubo de PVC o metálico, flexible o rígido, o instalado en bandeja perforada o de rejilla con tapa o cualquier otro tipo de canalización válido. Medida la longitud instalada. Se necesitarán 7300 unidades con un precio unitario de 0,78€. Total: 5723,2€. La estimación total de los cables se hace en función a otros proyectos de ingeniería con ayuda del director del TFG y Greenvolt. Con un total de 11.450€.

5.1.6 CANALIZACIÓN

Al igual que el cableado, se incluyen las canalizaciones en el precio final, aunque en este trabajo no se dimensionan, ni comentan se ha incluido para darle más credibilidad al presupuesto. Aunque el coste de la canalización no es significativo le da profesionalidad al trabajo. Se suma al presupuesto final un total de 4350€.

5.2 SEGURIDAD Y SALUD

Asimismo, la seguridad y salud se ha incorporado. Para más información consultar el ANEXO II.

5.2.1 PROTECCIONES INDIVIDUALES

Algunos de los elementos que se encuentran en esta sección son cascos de seguridad, guantes de cuero, botas aislantes. Todos estos materiales están en las tablas del ANEXO II.

5.2.2 PROTECCIONES COLECTIVAS

De igual manera se pueden encontrar como los carteles de riesgo o una línea de anclaje temporal se incluyen en el presupuesto. Siendo protecciones necesarias para el presupuesto.

5.2.3 PRIMEROS AUXILIOS Y MEDICINA PREVENTIVA

Para la obra e instalación de las placas solares se debe prevenir accidentes y por ello se debe disponer de un botiquín y con reposición del material en caso de que se precise de su uso.

5.3 BENEFICIO INDUSTRIAL

Se aplica un 12% de ganancia para la empresa contratista, en este caso Greenvolt:

$$\text{Beneficio industrial} = PEM \cdot \text{Porcentaje} \quad [9]$$

Beneficio Industrial: **22.250,07 €**

5.4 GASTOS GENERALES

Los costes indirectos por parte de la empresa contratista que incurre para llevar a cabo el proyecto son necesarios, aunque no estén relacionados con el proyecto. Se hará una estimación muy aproximada a la realidad.

- Administración: supone entorno a un 5-8% del presupuesto de ejecución del material (PEM). Incluyendo salarios, gestión de los documentos o herramientas de gestión. Se utiliza 5%.
- Oficinas y suministros suele rondar el 1-3% del PEM, son los costes de oficina y el material de oficina. Se utiliza 2%.
- Seguros que supone el 2-3% del PEM que incluye los seguros de responsabilidad civil y los seguros laborales de los trabajadores. Se utiliza 2%.
- Estudios técnicos y proyectos supone un 2-5% del PEM incluyendo elaboración de planos, cálculos técnicos o la redacción del proyecto técnico. Se utiliza 3%.
- Costes financieros como la financiación del proyecto por prestamos o avales bancarios. Se utiliza un 1,04%

Resultando un total de **24.175,11€**.

5.5 GASTOS EXTERNOS

Estos son los servicios necesarios para completar la instalación eléctrica que no son realizados por Greenvolt directamente.

- Subcontrataciones especiales que supone un 10-15% del PEM incluyendo el montaje de las estructuras, conexión de sistemas de media tensión e inspecciones-+. Se utiliza el 10%

- Ingeniería y dirección de obra ronda el 3-5% del PEM incluye revisión y validación de los planos, certificación de la obra por un técnico competente y la contratación de un ingeniero externo para supervisar la instalación. 3%
- Certificaciones y legalizaciones es en torno al 2-3% del PEM incluye certificado por el instalador, boletines eléctricos, inspecciones de organismos oficiales o la tramitación con la distribuidora.
- Logística y transporte incluye los materiales y equipos a la instalación o alquiler de maquinaria.

5.6 RESUMEN DEL PROYECTO

El presupuesto que se necesitará para el proyecto será **300.030,64€** incluyendo todos los conceptos para su ejecución. En la tabla de a continuación se desglosan las partes principales del presupuesto:

- Presupuesto de ejecución del material
- Beneficio industrial
- Gastos generales
- Gastos externos
- Impuestos (IVA)

Este desglose del presupuesto indica tanto los costes directos como los indirectos del proyecto. De esta forma se consigue un presupuesto ajustado para el cliente asegurando los más altos estándares de seguridad y calidad para nuestra instalación de placas solares fotovoltaicas para la PYME.

Tabla 9. Resumen del presupuesto. Fuente: Elaboración propia con asistencia de Greenvolt. 2024

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	
Presupuesto de Ejecución Material	185.417,29 €
Beneficio Industrial	22.250,07 €
Gastos Generales	24.175,11 €
Gastos Externos	16.116,74 €
Presupuesto de la Contrata	247.959,21 €
IVA (21%)	52.071,43 €
TOTAL PRESUPUESTO	300.030,64 €

En conclusión, el presupuesto se ha ajustado a las necesidades del cliente asegurando que se cumplan las expectativas fijadas. Asimismo, se consigue cumplir con la normativa, asegurar la salud, eficiencia y ajustar el presupuesto lo máximo posible.

5.7 DURACIÓN ESTIMADA POR FASES

Para una instalación de estas características se podría dividir en las siguientes fases:

- Diseño y planificación

Incluye los estudios técnicos y eléctricos. Así como la selección de equipos y proveedores y tramitación de los permisos. Con una duración estimada de 1 a 2 meses.

- Preparación del sitio

Instalación de los soportes y estructura de los módulos. Así como el acondicionamiento del techo. Duración estimada de 2-4 semanas.

- Instalación de módulos y cableado

Montaje de los módulos solares, con un total de 913, así como la conexión de strings DC y cuadros de protecciones. Duración estimada de 2-4 semanas.

- Instalación del sistema eléctrico

Montaje de los inversores, verificación de las protecciones y red de AC. Duración de 2-3 semanas.

- Puesta en marcha

Pruebas de generación y conexión a la red, inspecciones técnicas y certificación final. Duración estimada de 1-2 semanas.

- Tramitación final

Registro con la distribuidora eléctrica, así como los boletines eléctricos. Duración estimada de 2-4 semanas.

Salvaguardando factores como retrasos con autorizaciones, condiciones climáticas que retrasen la instalación y disponibilidad de los materiales, la duración estimada de la instalación es de 3 a 5 meses en total.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

A modo de conclusión se estructurará este capítulo:

- Conclusiones generales
- Análisis detallado de los logros conseguidos
- Logros a nivel personal
- Aportación de este TFG con relación a otros trabajos
- Trabajos futuros

Con este capítulo se busca resumir y ayudar al lector a englobar los conocimientos y lecciones aprendidas durante el proceso de elaboración de este proyecto.

- **Conclusiones generales**

En este trabajo se ha enseñado como implementar una planta solar fotovoltaica, así como los requisitos técnicos y económicos para una PYME del sector alimentario en Andalucía. A lo largo del proyecto se han demostrado numerosos éxitos.

En primer lugar, se ha conseguido reducir los costes energéticos de la PYME en Almería atacando el problema como en ningún otro TFG se había hecho. De la mano de Greenvolt se ha conseguido hacer un proyecto solar fotovoltaico de 507 kWp para ayudar a la reducción del consumo de la PYME. Gracias a la reducción de los gastos operativos la PYME puede seguir compitiendo con las empresas de su sector ofreciendo la mejor calidad a sus clientes.

En segundo lugar, este proyecto es un ejemplo para otras empresas del sector para que puedan replicar este modelo de ahorro energético. Asimismo, se ayuda a la transición energética y a la reducción de combustibles fósiles.

En tercer lugar, la viabilidad económica realizada ha supuesto un análisis exhaustivo de los costes de inversión para la PYME con su ahorro energético correspondiente. Además, se consigue cumplir con los más altos estándares de seguridad y normativa, cumpliendo la normativa vigente.

- **Análisis detallado de los logros conseguidos**

En este trabajo también se ha generado un impacto económico positivo, ventajas sociales para PYMES y reducción de riesgos.

Primero, la planta solar fotovoltaica que se instala genera estabilidad frente a cambios energéticos futuros, asegurándose suministro energético para el futuro y protegiendo a la PYME frente cambios en el precio de la energía.

Segundo, se consigue implementar un sistema que mejora la imagen y marca de la PYME frente a sus competidores. Demostrando su compromiso social con las energías renovables. Este compromiso energético supone un imán para clientes que también estén comprometidos con el cambio y un futuro más sostenible.

Tercero, se evitan riesgo ya que se diversifica la generación de energía con una nueva fuente energética y se protege la PYME frente precios elevados de electricidad.

- **Logros conseguidos a nivel personal**

Este proyecto ha supuesto un crecimiento personal en todo el campo de las placas solares y energía renovable a nivel personal. Este trabajo ha sido una prueba como estudiante de ingeniería industrial para probar mis conocimientos teóricos y prácticos. Entre los logros conseguidos me gustaría destacar algunos.

En primer lugar, se han aplicado conocimientos teórico-prácticos siendo una oportunidad única de aprendizaje con todo el tema de las energías renovables. Se ha profundizado en cálculos energéticos, investigación, normativas de seguridad y cálculo de presupuesto. Todos estos logros han conseguido que consolide mi formación académica en un entorno real.

En segundo lugar, manejar un proyecto como puede ser este: instalación de unas placas solares, ha supuesto para mí un desarrollo de mis habilidades de gestión, análisis de recursos y organización. Han supuesto para mí un plus para que en el mundo laboral este mejor preparado en futuros retos.

En tercer lugar, he desarrollado mi capacidad de resolver problemas bajo presión. La fecha límite y la gestión de los recursos facilitados por Greenvolt han supuesto para mí un reto de contrarreloj que estoy seguro de que me ha ayudado a crecer como ingeniero. Asimismo, el cumplimiento normativo y correcta forma de referenciar han supuesto para mí un reto y han fortalecido mi pensamiento crítico.

En cuarto lugar, mi capacidad en equipo interactuando con mi director de TFG y con la empresa colaboradora me han ayudado a aprender intercambiando ideas y a desarrollar mis habilidades interpersonales.

En quinto lugar, he aportado un granito de arena para el sector empresarial español y para la transición energética, motivando a otros jóvenes a hacerlo de la misma manera.

- **Aportación de este TFG con relación a otros trabajos**

En este trabajo en comparación con otros trabajos de fin de carrera se abordan temas relacionados con el autoconsumo energético, centrándose en la demanda particular de una PYME del sector alimenticio.

Principalmente se ha hecho un análisis adaptado a las necesidades de la PYME. Se ha hecho un análisis económico y normativo personalizado para la PYME, en otros trabajos de trabaja de manera superficial. Sirve como modelo replicable a diferencia de otros TFG para otras empresas del sector, incluso para empresas de otros sectores puede servir de referencia.

Integra también la importancia del cuidado de la marca personal apostando por la sostenibilidad. Asimismo, se ha realizado con un enfoque distinto puesto que la mayoría de TFGs del tema son enfocados sobre todo a hogares de particulares.

- **Trabajos futuros**

En este trabajo se han cumplido los objetivos propuestos. Para los siguientes trabajos en el mismo tema se sugiere que se mejore incorporación de baterías para optimizar el consumo energético en periodos con baja radiación, integración de sistemas de inteligencia artificial para prever fallos del sistema o validar resultados.

También pueden fomentarse talleres para promover formación de las placas solares para autónomos. Así como colaboraciones con instituciones académicas y gubernamentales para estudiar las últimas tecnologías para la instalación de placas solares para PYMES.

En resumen, este proyecto resume los usos de las placas solares para PYMES y como se ha abordado para una PYME concreta de Almería. Se ha probado como es una solución factible para abaratar costes marcando un camino claro hacia la transición energética. Asimismo, este trabajo aporta una solución que puede servir como modelo para otras empresas.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] El arte de la guerra de Sun Tzu: resumen. c. 2024 <https://tunovela.es/blog/el-arte-de-la-guerra-de-sun-tzu-resumen/>
- [2] Fundeen. “Origen de las energías renovables”. Blog Energías Renovables. c. 2024 <https://www.fundeen.com/blog-energias-renovables/origen-de-las-energias-renovables>.
- [3] IBM. “Renewable Energy History”. IBM Think Topics. c. 2024 <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/renewable-energy-history>.
- [4] Enel Green Power. “Nuevas tecnologías para antiguas formas de energía”. Historias. Marzo 2018 <https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articulos/2018/03/energias-renovables-nuevas-tecnologias-para-antiguas-formas-de-energia>.
- [5] EPRE. “La energía hidroeléctrica: De fuente renovable más antigua a protagonista de la transición energética”. c. 2024 <https://epre.gov.ar/web/la-energia-hidroelectrica-de-fuente-renovable-mas-antigua-a-protagonista-de-la-transicion-energetica/>.
- [6] Wikipedia. “Molino hidráulico”. c. 2024 [https://es.wikipedia.org/wiki/Molino_hidr%C3%A1ulico#:~:text=Molinos%20flotantes,Art%C3%ADculo%20principal%3A%20Molino&text=Sus%20or%C3%ADgenes%20en%20Europa%20se,la%20Encyclop%C3%A9die%20Diderot%20\(1751\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Molino_hidr%C3%A1ulico#:~:text=Molinos%20flotantes,Art%C3%ADculo%20principal%3A%20Molino&text=Sus%20or%C3%ADgenes%20en%20Europa%20se,la%20Encyclop%C3%A9die%20Diderot%20(1751)).
- [7] Enerdata. “Producción de energía solar y eólica”. c. 2024 <https://datos.enerdata.net/energias-renovables/eolica-solar-produccion.html>.
- [8] El País. “Las PYMEs, el motor que mueve el empleo y el crecimiento de la economía española”. Economía. 13 marzo 2024 <https://elpais.com/economia/2024-05-13/las-pymes-el-motor-que-mueve-el-empleo-y-el-crecimiento-de-la-economia-espanola.html>.
- [9] HuffPost. “España se obsesiona con los nuevos paneles solares de Alemania: 'Si un millón y medio lo hace debe ser por algo’”. Sociedad. c. 2024 <https://www.huffingtonpost.es/sociedad/espana-obsesiona-nuevos-paneles-solares-alemania-si-millon-medio-debe.html>.

- [10] Statista. “Consumo de energía renovable en España”. c. 2024
<https://es.statista.com/estadisticas/501071/consumo-de-energia-renovable-en-espana/>.
- [11] Iberdrola. “¿Qué es la energía solar fotovoltaica?”. Sostenibilidad. c. 2024
<https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-solar-fotovoltaica/historia-energia-solar>
- [12] Wikipedia. “Energía solar fotovoltaica”. c. 2024
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica.
- [13] El País. “La revolución de los balcones solares llega a los pisos españoles”. Negocios. 30 de noviembre 2024 <https://elpais.com/economia/negocios/2024-11-30/la-revolucion-de-los-balcones-solares-llega-a-los-pisos.html>.
- [14] ABC. “Las PYMEs y el autoconsumo solar: un rayo de competitividad”. Economía. 2 de octubre de 2024 <https://www.abc.es/economia/pymes-hallan-autoconsumo-solar-rayo-competitividad-20241002162923-nt.html>.
- [15] Naciones Unidas. “Objetivos de Desarrollo Sostenible”. Agenda 2030. c. 2024
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
- [16] AutoCAD. “Herramienta para diseño técnico de sistemas eléctricos”. Autodesk. c. 2024
<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>.
- [17] Autónomos y Emprendedores. “Cómo autónomos y PYMEs pueden instalar placas solares sin coste inicial”. Actualidad. 29 de febrero 2024
<https://www.autonomosyemprendedor.es/articulo/actualidad/asi-pueden-autonomos-pymes-instalar-placas-solares-negocio-manera-gratuita-reducir-cero-factura-electrica/20240229163529034914.html>.
- [18] Azkue Arrondo, A. “Análisis de una instalación fotovoltaica para el autoconsumo de energía eléctrica en una vivienda unifamiliar aislada en Zamora”. 2018.
- [19] Superdeporte. “España vuelve a batir récords en energías renovables”. Verde Azul. 21 de diciembre 2024 <https://www.superdeporte.es/verde-azul/2024/12/21/espana-vuelve-batir-records-energias-112820056.html>.
- [20] El País. “Las PYMEs y su impacto en la economía española”. Economía. c. 2024
<https://www.elpais.com/economia/pymes-impacto>.

- [21] EFC Solar. “Incentivos y normativas para placas solares en 2024”. Energía Solar Fotovoltaica. c. 2024 <https://www.efcsolar.com/energia-solar-fotovoltaica/normativa-de-autoconsumo-y-placas-solares-2024>.
- [22] Escribano Orts, J. D. “Instalación solar fotovoltaica de autoconsumo con conexión a red para una empresa de embutidos en Beniel, Murcia”. 2021.
- [23] García Bellingham, D. “Análisis económico de una instalación de autoconsumo fotovoltaico”. Universidad de Sevilla. 2020.
- [24] González Carballo, A. “Diseño de una instalación de autoconsumo fotovoltaico para una vivienda unifamiliar”. Universidad Politécnica de Madrid. 2021.
- [25] Greenvolt. “Diseño e implementación de instalaciones solares fotovoltaicas para autoconsumo”. c. 2024 <https://www.greenvolt.com>.
- [26] IDAE. “Normativa de autoconsumo en España”. Oficina de Autoconsumo. c. 2024 <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/oficina-de-autoconsumo/normativa-de-autoconsumo>.
- [27] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. “Real Decreto 244/2019: Normativa de autoconsumo”. BOE. 6 de abril 2019 https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089.
- [28] PVGIS. “Simulador fotovoltaico para análisis de irradiación solar”. c. 2024 https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.
- [29] PVSyst. “Software de simulación de sistemas fotovoltaicos”. c. 2024 <https://www.pvsyst.com>.
- [30] Sanz Taboada, M. “Instalación de placas solares en nave industrial para autoconsumo”. Universidad Pontificia Comillas. 2020.
- [31] Sunhero. “Precio de placas solares para empresas”. Blog. 11 de diciembre 2024 <https://www.sunhero.com/blog/precio-placas-solares-empresas>.
- [32] Villagrán Fernández Salvador, Pablo. “Diseño y puesta en marcha de un taller de formación en instalaciones fotovoltaicas”. 2024.

- [33] Statista. “Generación mundial de energía renovable por tipo de fuente energética”. c. 2024
<https://es.statista.com/estadisticas/638825/generacion-mundial-de-energia-renovable-por-tipo-de-fuente-energetica/>.
- [34] Barney and Co. “Ocho de cada diez personas en España están interesadas en la instalación de placas fotovoltaicas”. Blog. c. 2024. <https://www.barneyandco.es/blog/ocho-de-cada-diez-personas-en-espana-estan-interesadas-en-la-instalacion-de-placas-fotovoltaicas/>.
- [35] Datosmacro. “Electricidad: Consumo”. Expansión. c. 2024
<https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-consumo>.
- [36] IEA. “World Energy Outlook 2023: Executive Summary”. c. 2024
https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary?language=es&utm_
- [37] Parlamento Europeo. “La energía renovable”. c. 2024
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable>.
- [38] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. “Objetivos de desarrollo sostenible”. c. 2024. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>.
- [39] Greenvolt Next. “Soluciones de Energía Renovable”. c. 2024.
<https://next.greenvolt.com/es/>.
- [40] Área Tecnología. "Fotovoltaica." c. 2024.
<https://www.areatecnologia.com/fotovoltaica.html>
- [41] Ernesto Rodríguez Arias. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS: Componentes, Cálculo y Diseño. c. 2024.
- [42] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE). "Photovoltaics Report." 2021.
<https://www.ise.fraunhofer.de/>
- [43] Messenger, R. A., & Ventre, J. Photovoltaic Systems Engineering, 2010.

ANEXO I



Version 7.4.8

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: TFG-millanSanchez-Almeria

Variant: proyecto fin carrera 1.

No 3D scene defined, no shadings

System power: 507 kWp

El Algarrobal - Spain

Author



Project: TFG-millanSanchez-Almeria

Variant: proyecto fin carrera 1.

PVsyst V7.4.8

VCO, Simulation date:
14/01/25 22:38
with V7.4.8

Project summary

Geographical Site El Algarrobal Spain	Situation Latitude 36.78 °N Longitude -2.75 °W Altitude 65 m Time zone UTC+1	Project settings Albedo 0.20
Weather data El Algarrobal Meteonorm 8.1 (1996-2010), Sat=63% - Sintético		

System summary

Grid-Connected System Simulation for year no 10	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 36.8 / 0 °	Near Shadings No Shadings	User's needs Monthly values	
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules 913 units		Nb. of units 5 units	
Pnom total 507 kWp		Pnom total 500 kWac	
		Pnom ratio 1.013	

Results summary

Produced Energy 877595 kWh/year	Specific production 1732 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 81.91 %
Used Energy 638802 kWh/year		Solar Fraction SF 42.26 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	5
Loss diagram	6
Predef. graphs	7
Single-line diagram	8
Cost of the system	9
CO ₂ Emission Balance	10



Project: TFG-millanSanchez-Almeria

Variant: proyecto fin carrera 1.

PVsyst V7.4.8

VCO, Simulation date:
14/01/25 22:38
with V7.4.8

General parameters

Grid-Connected System													No 3D scene defined, no shadings			
PV Field Orientation													Sheds configuration		Models used	
Orientation													No 3D scene defined		Transposition Perez	
Fixed plane															Diffuse Perez, Meteorom	
Tilt/Azimuth													36.8 / 0 °		Circumsolar separate	
Horizon													Near Shadings		User's needs	
Free Horizon													No Shadings		Monthly values	
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year				
36.7	35.2	45.9	53.3	59.6	62.1	68.8	64.2	57.7	50.5	55.5	49.3	639	MWh/mth			

PV Array Characteristics

PV module				Inverter			
Manufacturer		Generic		Manufacturer		Generic	
Model		LR5-72HPH-555M G2		Model		SUN2000-100KTL-M1-480Vac	
(Original PVsyst database)				(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power		555 Wp		Unit Nom. Power		100 kWac	
Number of PV modules		913 units		Number of inverters		5 units	
Nominal (STC)		507 kWp		Total power		500 kWac	
Modules		83 string x 11 In series		Operating voltage		200-1000 V	
At operating cond. (30°C)				Max. power (=>40°C)			
Pmpp		499 kWp		Pnom ratio (DC:AC)		1.01	
U mpp		449 V		Power sharing within this inverter			
I mpp		1113 A					
Total PV power				Total inverter power			
Nominal (STC)		507 kWp		Total power		500 kWac	
Total		913 modules		Max. power		550 kWac	
Module area		2359 m²		Number of inverters		5 units	
Cell area		2189 m²		Pnom ratio		1.01	

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Series Diode Loss	
Module temperature according to irradiance					
Uc (const)		Global array res.		Voltage drop	
20.0 W/m²K		6.2 mΩ		0.7 V	
Uv (wind)		Loss Fraction		Loss Fraction	
0.0 W/m²K/m/s		1.5 % at STC		0.2 % at STC	
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss	
Loss Fraction		Loss Fraction		Loss Fraction	
-0.8 %		2.0 % at MPP		0.1 %	
Module average degradation					
Year no		10			
Loss factor		0.4 %/year			
Mismatch due to degradation					
Imp RMS dispersion		0.4 %/year			
Vmp RMS dispersion		0.4 %/year			



Project: TFG-millanSanchez-Almeria

Variant: proyecto fin carrera 1.

PVsyst V7.4.8

VC0, Simulation date:
14/01/25 22:38
with V7.4.8

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): User defined profile

0°	25°	45°	60°	65°	70°	75°	80°	90°
1.000	1.000	0.995	0.962	0.936	0.903	0.851	0.754	0.000

System losses

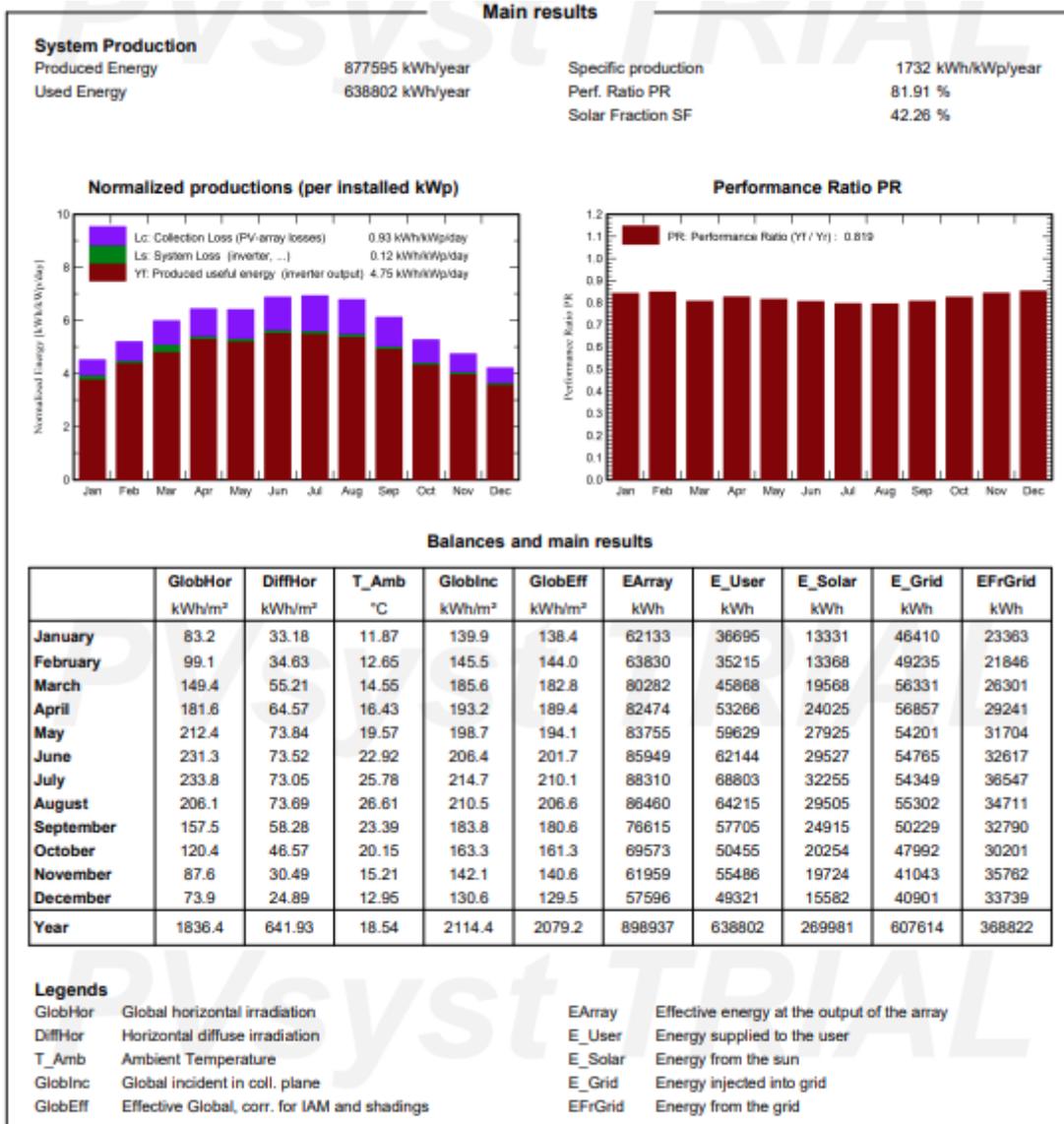
Unavailability of the system

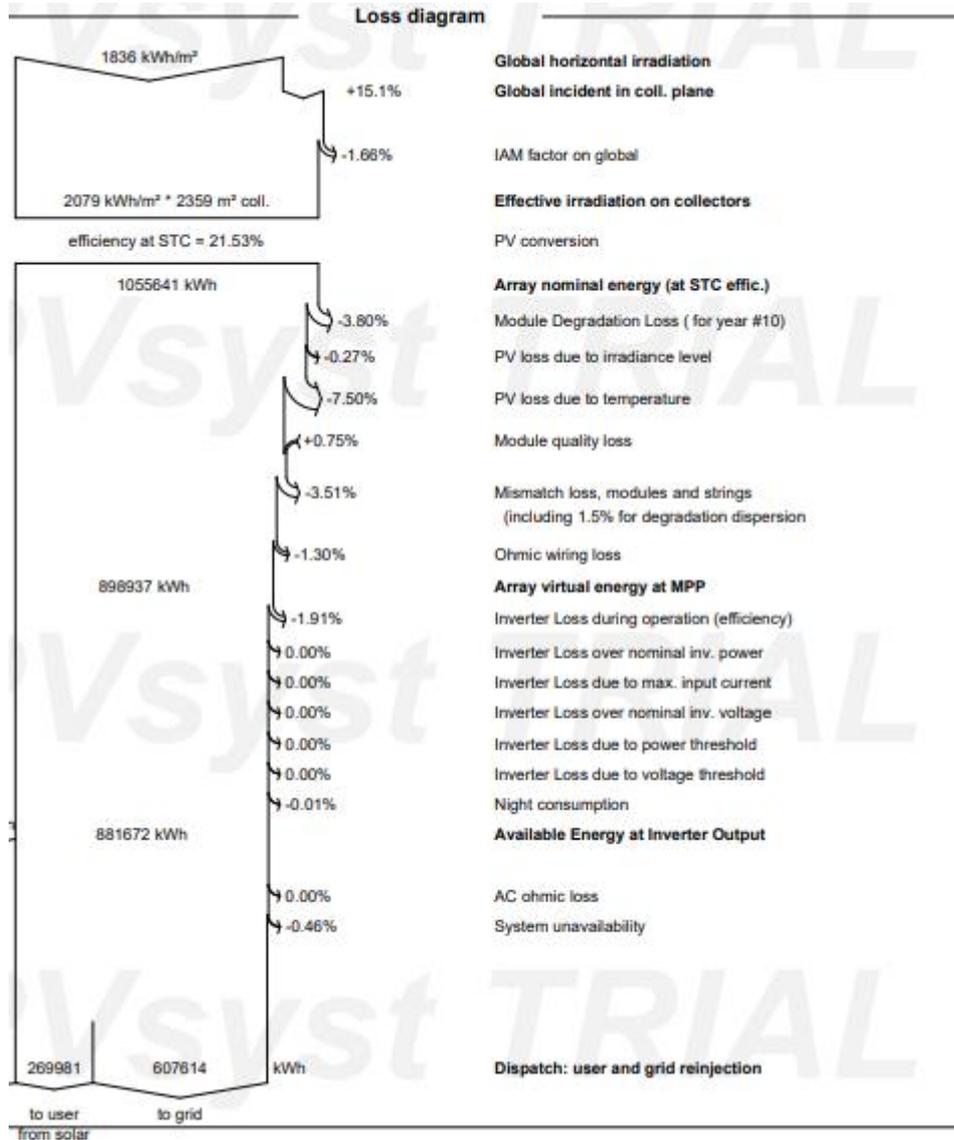
Time fraction 0.3 %
1.1 days,
2 periods

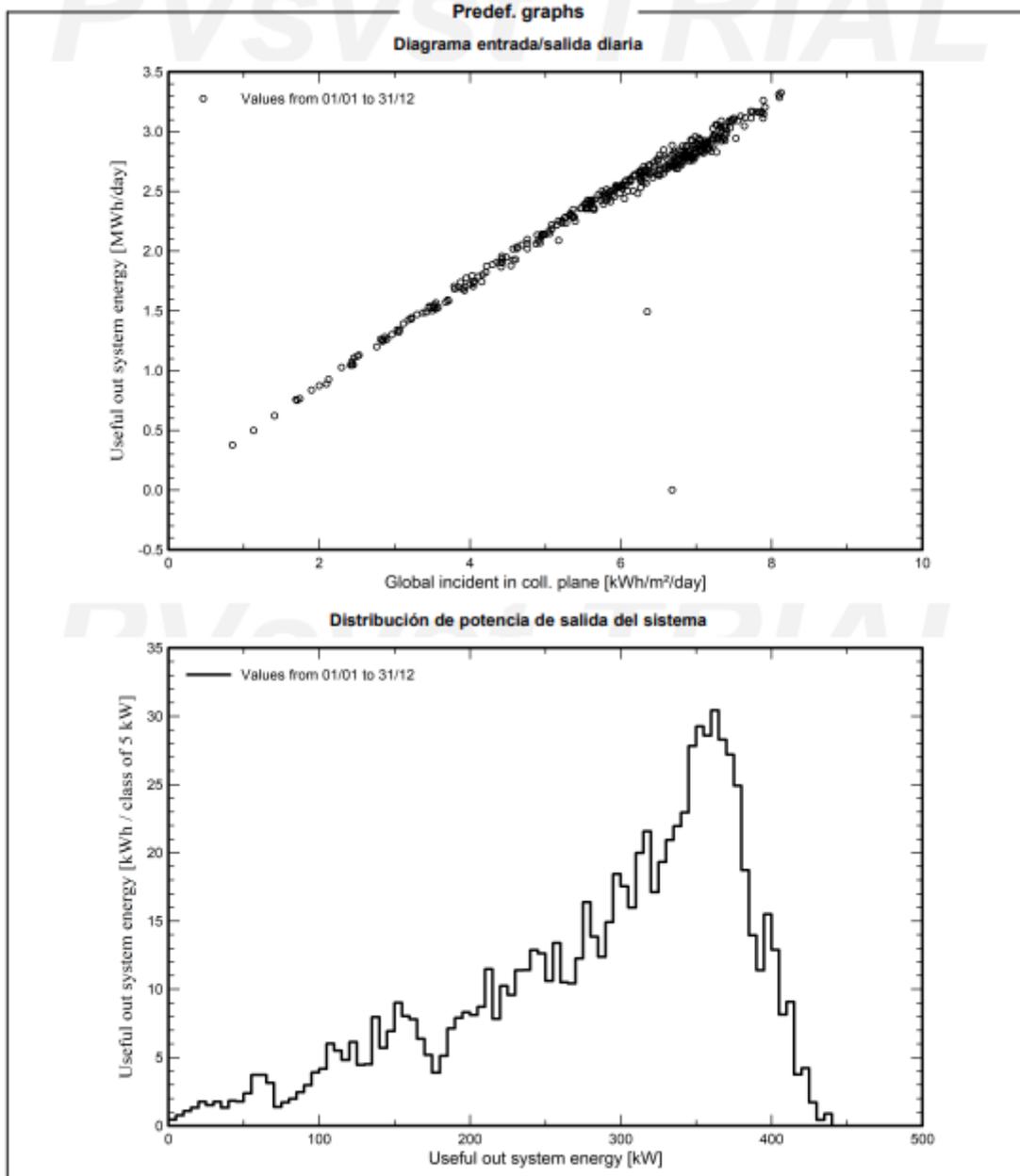
AC wiring losses

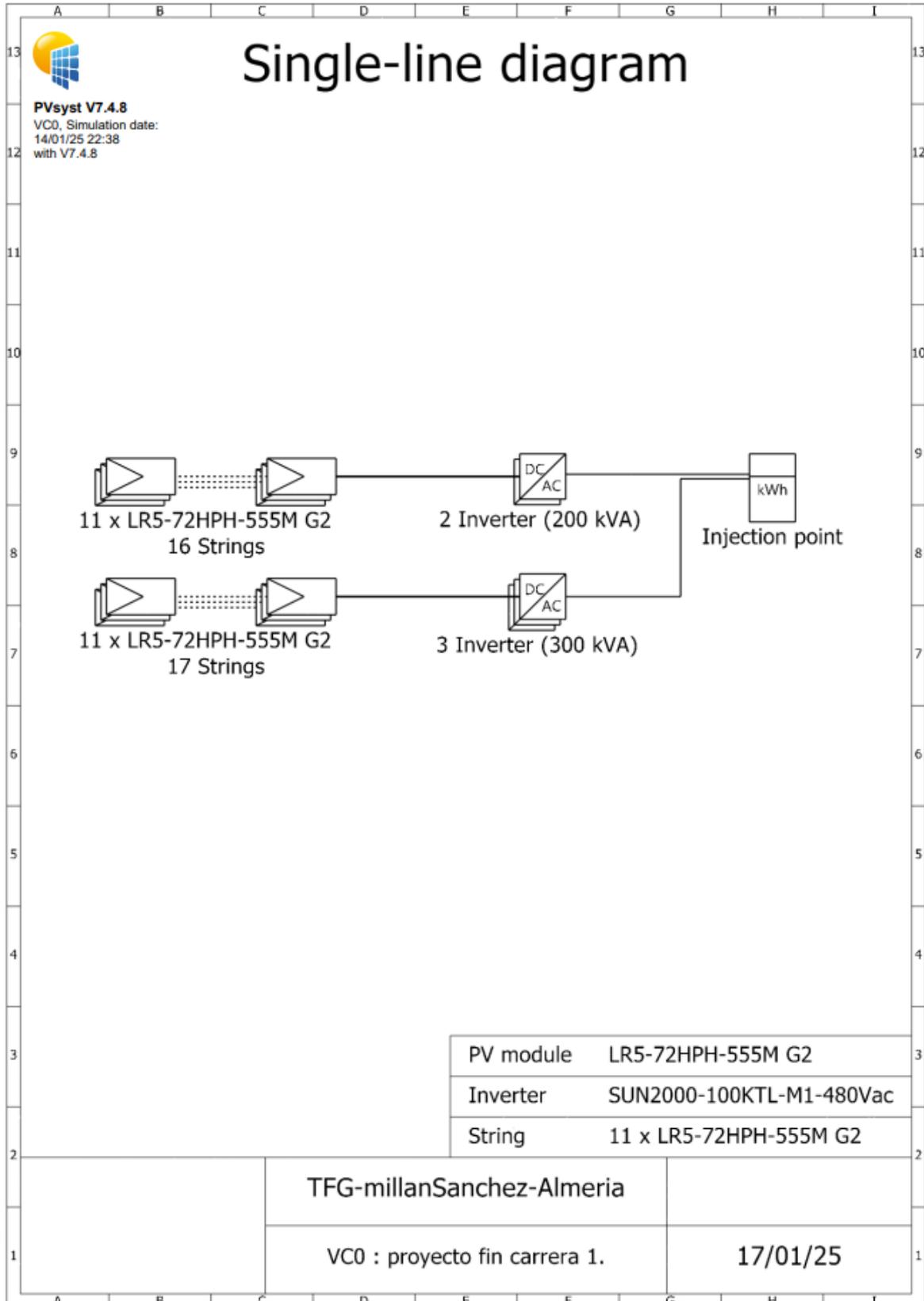
Inv. output line up to injection point

Inverter voltage 480 Vac tri
Loss Fraction 0.00 % at STC
Inverter: SUN2000-100KTL-M1-480Vac
Wire section (5 Inv.) Copper 5 x 3 x 35 mm²
Average wires length 0 m

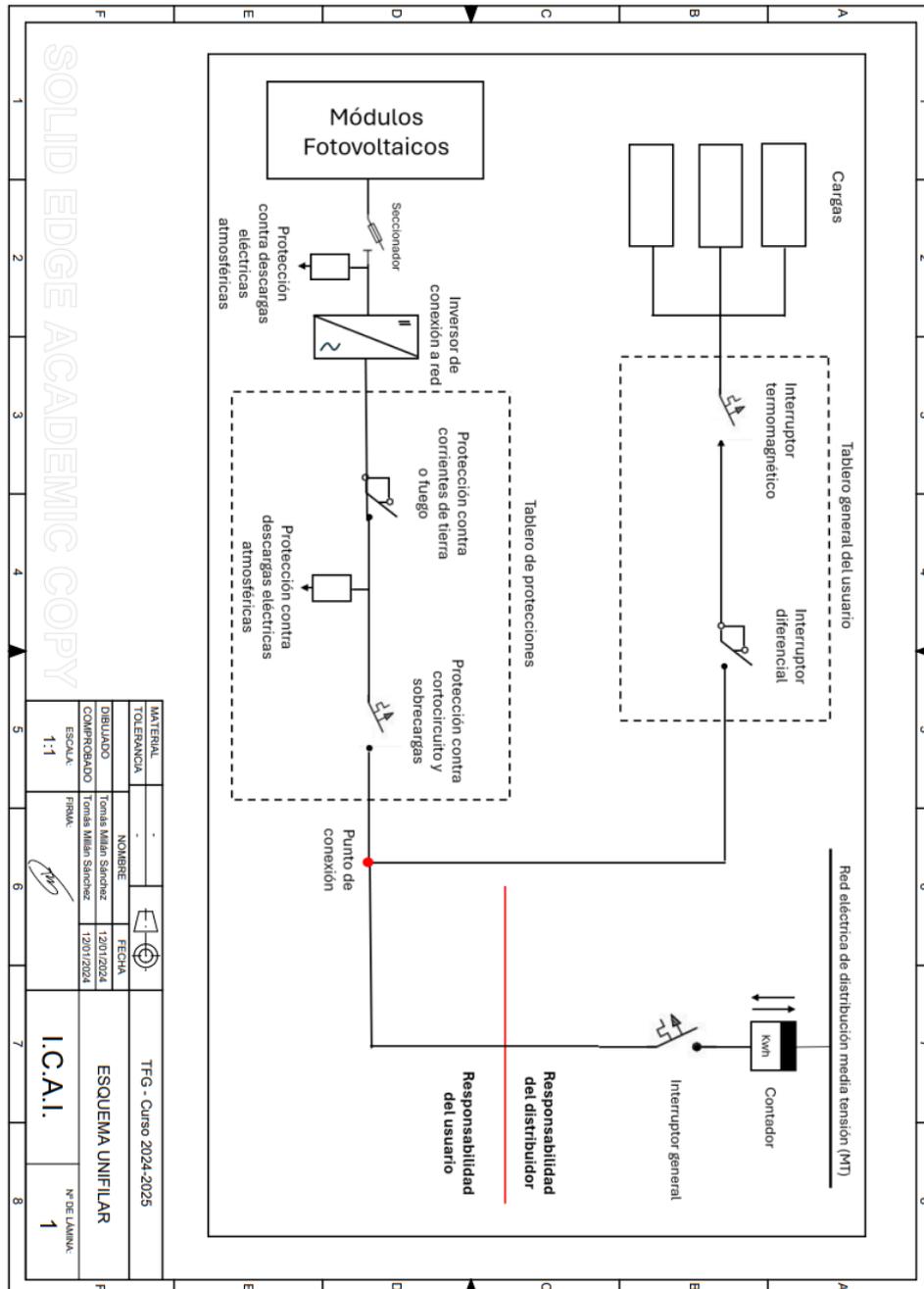








Esquema unifilar de la planta FV:



ANEXO II

Las tablas de este anexo resumen los cálculos económicos del proyecto.

Debido a su pequeño tamaño, al final del conjunto completo de tablas se encontrarán en un tamaño superior para su mejor lectura.

MEDICIONES Y PRESUPUESTO						
Código	Concepto	Ud	Resumen	Cant.	Prec. Un.	Precio
01	Capítulo		INSTALACIÓN FV	1	178.821,21 €	178.821,21 €
01.01	Capítulo		MÓDULOS			
	Partida	U	MODULO FOTOVOLTAICO 550Wp MONCRISTALINO 144 CÉLULAS	913	111,00 €	101.343,00 €
			Suministro e instalación de módulo fotovoltaico Longi o similar, de 550 Wp, 144 células, totalmente instalado y cableado, medida la unidad instalada.			
	Partida	U	CONECTOR MC4-6mm	92	5,40 €	496,80 €
			Suministro e instalación de conectores tipo MC-4 para conductor de cobre de 6mm ² , corriente nominal de 30A, tensión máxima de 1000V, grado de protección IP67 y rango de temperatura -40°C a +90°C.			
01.02	Capítulo		ESTRUCTURA Y SOPORTES			
	Partida	U	ESTRUCTURA METÁLICA COPLANAR	1	20.268,60 €	20.268,60 €
			Suministro e instalación de estructura metálica, fabricada en aluminio, para montaje coplanar con inclinación y orientación propia de la cubierta. Fabricante de la estructura será Sunfer o similar. Se incluyen pernos de fijación y juntas de estanqueidad, diseñadas para instalaciones fotovoltaicas en cubierta y que garanticen IP65 o superior, además de presores centrales y laterales para la sujeción de los módulos.			
01.03	Capítulo		INVERSORES Y MONITORIZACIÓN			
	Partida	U	INVERSOR HUAWEI SUN2000-100KTL-M2	4	3.250,00 €	13.000,00 €
			Suministro e instalación de inversor Trifásico HUAWEI SUN2000-100KTL-M1 o similar, totalmente instalado y funcionando.			
	Partida	U	INVERSOR HUAWEI SUN2000-50KTL-M2	1	2.250,00 €	2.250,00 €
			Suministro e instalación de inversor Trifásico HUAWEI SUN2000-50KTL-M1 o similar, totalmente instalado y funcionando.			
	Partida	U	SMARTLOGGER 3000A	1	420,00 €	420,00 €
			Suministro e instalación de equipo de comunicación, totalmente instalado y funcionando.			
	Partida	U	CONTADOR JANITZA UMG604	1	650,00 €	650,00 €
			Suministro e instalación de contador de consumos, totalmente instalado y funcionando.			
01.04	Capítulo		CUADROS Y MATERIAL ELÉCTRICO			
	Partida	U	CUADROS DE PROTECCIONES CC Y CA	1	24.322,32 €	24.322,32 €
			Suministro e instalación de cuadro o armario metálico o de PVC, incluyendo carriles, embarrados de circuitos, fusibles para la parte de CC y interruptores automáticos magnetotérmicos y diferenciales y fusibles para la parte de CA, incluyendo descargador de sobretensiones y etiquetado de las protecciones. Esquema mostrado en Planos adjuntos al proyecto, incluyendo protecciones para Módulos, Inversores y equipos de Monitorización.			
	Partida	U	TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD 1250/5	3	90,00 €	270,00 €
			Suministro e instalación de transformadores de intensidad, de núcleo abierto, con intensidad de entrada XXXA y salida a 5A, totalmente instalado y conexionado.			

MEDICIONES Y PRESUPUESTO				Cant.	Prec. Un.	Precio
02	Capítulo	Resumen	SEGURIDAD Y SALUD	1	6.596,08 €	6.596,08 €
02.01	Capítulo	Resumen	PROTECCIONES INDIVIDUALES	1	616,44	616,44 €
			Cascos de seguridad homologados.	6	11,12	66,72 €
			Gafas antipolvo e impacto.	6	6,25	37,50 €
			Arnés de seguridad.	6	29,96	179,76 €
			Monos de Trabajo.	6	8,77	52,62 €
			Pares de guantes de cuero	6	4,15	24,90 €
			Pares de guantes dieléctricos para baja tensión	6	21	126,00 €
			Par de botas aislantes.	6	21,49	128,94 €
02.02	Capítulo	Resumen	PROTECCIONES COLECTIVAS	1	2601,6	2.601,60 €
	U		Carteles Indicadores de Riesgo.	4	25,4	101,60 €
	m		Línea de anclaje horizontal temporal, de cable de acero, con amortiguador de caídas.	250	10	2.500,00 €
02.03	Capítulo	Resumen	MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS	1	80	80,00 €
			Botiquín de obra para primeros auxilios completamente equipado y reposición de material sanitario durante el transcurso de la obra.	2	40	80,00 €
				RESUMEN DEL PRESUPUESTO		
				Presupuesto de Ejecución Material		185.417,29 €
				Beneficio Industrial		22.250,07 €
				Gastos Generales		24.175,11 €
				Gastos Externos		16.116,74 €
				Presupuesto de la Contrata		247.959,21 €
				IVA (21%)		52.071,43 €
				TOTAL PRESUPUESTO		300.030,64 €

A continuación, se encuentran las tablas por trozos para facilitar su lectura:

A continuación, en dos imágenes se facilita la lectura de las mediciones y presupuesto desde módulos hasta cuadros y material eléctrico.

MEDICIONES Y PRESUPUESTO			
Código	Concepto	Ud	Resumen
01	Capítulo		INSTALACIÓN FV
01.01	Capítulo		MÓDULOS
	Partida	U	MODULO FOTOVOLTAICO 550Wp MONCRISTALINO 144 CÉLULAS Suministro e instalación de módulo fotovoltaico Longi o similar, de 550 Wp, 144 células medida la unidad instalada.
	Partida	U	CONECTOR MC4-6mm Suministro e instalación de conectores tipo MC-4 para conductor de cobre de 6mm ² , máxima de 1000V, grado de protección IP67 y rango de temperatura -40°C a +90°C.
01.02	Capítulo		ESTRUCTURA Y SOPORTES
	Partida	U	ESTRUCTURA METÁLICA COPLANAR Suministro e instalación de estructura metálica, fabricada en aluminio, para montaje orientación propia de la cubierta. Fabricante de la estructura será Sunfer o similar. Se de estanqueidad, diseñadas para instalaciones fotovoltaicas en cubierta y que garant presores centrales y laterales para la sujeción de los módulos.
01.03	Capítulo		INVERSORES Y MONITORIZACIÓN
	Partida	U	INVERSOR HUAWEI SUN2000-100KTL-M2 Suministro e instalación de inversor Trifásico HUAWEI SUN2000-100KTL-M1 o similar,
	Partida	U	INVERSOR HUAWEI SUN2000-50KTL-M2 Suministro e instalación de inversor Trifásico HUAWEI SUN2000-50KTL-M1 o similar, t
	Partida	U	SMARTLOGGER 3000A Suministro e instalación de equipo de comunicación, totalmente instalado y funciona
	Partida	U	CONTADOR JANITZA UMG604 Suministro e instalación de contador de consumos, totalmente instalado y funcionan
01.04	Capítulo		CUADROS Y MATERIAL ELÉCTRICO
	Partida	U	CUADROS DE PROTECCIONES CC Y CA Suministro e instalación de cuadro o armario metálico o de PVC, incluyendo carriles, para la parte de CC y interruptores automáticos magnetotérmicos y diferenciales y fusibles, fusible y descargador de sobretensiones y etiquetado de las protecciones. Esquema mostrado incluyendo protecciones para Módulos, Inversores y equipos de Monitorización.
	Partida	U	TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD 1250/5 Suministro e instalación de transformadores de intensidad, de núcleo abierto, con intensidad nominal de 5A, totalmente instalado y conexionado.

	Cant.	Prec. Un.	Precio
	1	178.821,21 €	178.821,21 €
de 550 Wp, 144 células, totalmente instalado y cableado,	913	111,00 €	101.343,00 €
	92	5,40 €	496,80 €
or de cobre de 6mm ² , corriente nominal de 30A, tensión tura -40°C a +90°C.	1	20.268,60 €	20.268,60 €
uminio, para montaje coplanar con inclinación y rá Sunfer o similar. Se incluyen pernos de fijación y juntas cubierta y que garanticen IP65 o superior, además de	4	3.250,00 €	13.000,00 €
-100KTL-M1 o similar, totalmente instalado y funcionando.	1	2.250,00 €	2.250,00 €
-50KTL-M1 o similar, totalmente instalado y funcionando.	1	420,00 €	420,00 €
e instalado y funcionando.	1	650,00 €	650,00 €
instalado y funcionando.	1	24.322,32 €	24.322,32 €
; incluyendo carriles, embarrados de circuitos, fusibles ios y diferenciales y fusibles para la parte de CA, incluyendo s. Esquema mostrado en Planos adjuntos al proyecto, e Monitorización.	3	90,00 €	270,00 €
úcleo abierto, con intensidad de entrada XXXA y salida a			

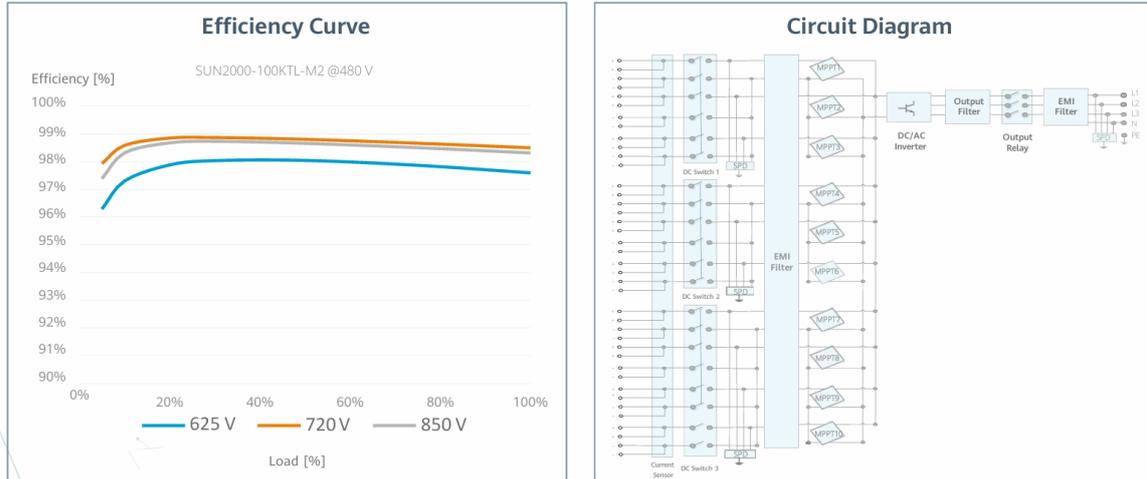
	Cant.	Prec. Un.	Precio
	1	6.596,08 €	6.596,08 €
	1	616,44	616,44 €
	6	11,12	66,72 €
	6	6,25	37,50 €
	6	29,96	179,76 €
	6	8,77	52,62 €
	6	4,15	24,90 €
	6	21	126,00 €
	6	21,49	128,94 €
	1	2601,6	2.601,60 €
	4	25,4	101,60 €
	250	10	2.500,00 €
	1	80	80,00 €
aterial sanitario durante el transcurso			
	2	40	80,00 €

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	
Presupuesto de Ejecución Material	185.417,29 €
Beneficio Industrial	22.250,07 €
Gastos Generales	24.175,11 €
Gastos Externos	16.116,74 €
Presupuesto de la Contrata	247.959,21 €
IVA (21%)	52.071,43 €
TOTAL PRESUPUESTO	300.030,64 €

ANEXO III

SUN2000-100KTL-M2
Smart PV Controller





Technical Specification	SUN2000-100KTL-M2
Efficiency	
Max. efficiency	98.6% @ 400 V, 98.8% @ 480 V
European efficiency	98.4% @ 400 V, 98.6% @ 480 V
Input	
Max. Input Voltage ¹	1,100 V
Max. Current per MPPT	30 A
Max. Current per Input	20 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range ²	200 V ~ 1,000 V
Nominal Input Voltage	600 V @ 400 Vac, 720 V @ 480 Vac
Number of MPP trackers	10
Max. input number per MPP tracker	2
Output	
Nominal AC Active Power	100,000 W
Max. AC Apparent Power	110,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	110,000 W
Nominal Output Voltage	400 V/ 480 V, 3W+(N)+PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Nominal Output Current	144.4 A @ 400 V, 120.3 A @ 480 V
Max. Output Current	160.4 A @ 400 V, 133.7 A @ 480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%

Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Arc Fault Protection	Yes
Smart String Level Disconnecter	Yes
Communication	
Display	LED indicators; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485	Yes
USB	Yes
Smart Dongle-4G	4G / 3G / 2G via Smart Dongle – 4G (Optional)
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (isolation transformer required)
General Data	
Dimensions (W x H x D)	1,035 x 700 x 365 mm
Weight (with mounting plate)	93 kg
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C
Cooling Method	Smart Air Cooling
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol HH4
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal
Protection Degree	IP66
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 3.5 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683
Grid Connection Standards	VDE-AR-N4105, EN 50549-1, EN 50549-2, RD 661, RD 1699, C10/11

*1 The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
 *2 Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.

Hi-MO 5_m
(G2)

LR5-72HPH
545~565M

- Basado en obleas M10, la mejor opción para centrales de producción de energía a gran escala
- Tecnología avanzada que permite ofrecer una eficiencia superior del módulo
 - Oblea M10 dopada con galio
 - Cintas segmentadas integradas
 - Media célula 9BB
- Excelente rendimiento de generación de energía en exteriores
- La alta calidad del módulo garantiza una fiabilidad a largo plazo

12 12 años de garantía de producto

25 25 años de garantía de potencia lineal

Certificaciones del producto y de sistemas de gestión

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730
ISO9001:2008: Sistema de gestión de calidad ISO
ISO14001: 2004: Sistema de gestión ambiental ISO
ISO45001:2018: Salud y seguridad ocupacional
IEC62941: Guía para la calificación del diseño del módulo y la aprobación de tipo

LONGI

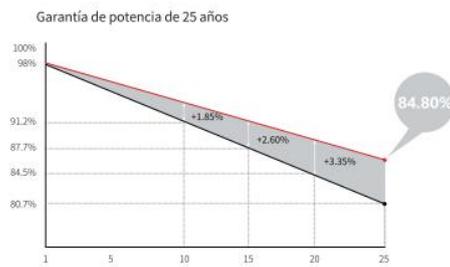


Hi-MO 5_m

LR5-72HPH 545~565M

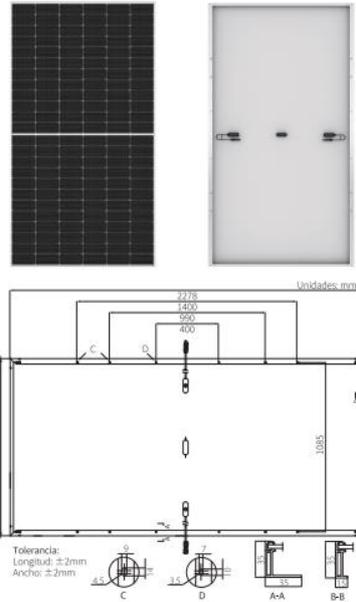
21.9% MÁXIMA EFICIENCIA DEL MÓDULO	0~3% TOLERANCIA DE POTENCIA	<2% DEGRADACIÓN DE LA POTENCIA EN EL PRIMER AÑO	0.55% DEGRADACIÓN DE LA POTENCIA DEL AÑO 2 AL 25	HALF-CELL Temperatura de operación más baja
--	---------------------------------------	--	--	---

Valor adicional



Datos mecánicos

Distribución de las células	144 (6×24)
Caja de conexiones	IP68, tres diodos
Cableado	4mm ² , +400, -200mm/±1400mm la longitud se puede personalizar
Conector	LONGI LR5 o MC4 EVO2
Vidrio	Vidrio templado recubierto de 3.2mm
Marco	Marco de aleación de aluminio anodizado
Peso	27.5kg
Dimensión	2278×1134×35mm
Embalaje	31piezas por palet / 155piezas por 20' GP / 620piezas por 40' HC



Datos eléctricos	STC: AM1.5 1000W/m ² 25°C		NOCT: AM1.5 800W/m ² 20°C 1m/s		Incertidumbre de P _{max} : ±3%						
	LR5-72HPH-545M	LR5-72HPH-550M	LR5-72HPH-555M	LR5-72HPH-560M	LR5-72HPH-565M	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Código de producto	LR5-72HPH-545M	LR5-72HPH-550M	LR5-72HPH-555M	LR5-72HPH-560M	LR5-72HPH-565M						
Condiciones de ensayo	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Potencia máxima (P _{max} /W)	545	407.4	550	411.1	555	414.8	560	418.6	565	422.3	
Tensión de circuito abierto (V _{oc} /V)	49.65	46.68	49.80	46.82	49.95	46.97	50.10	47.11	50.30	47.29	
Corriente de cortocircuito (I _{sc} /A)	13.92	11.25	13.98	11.31	14.04	11.35	14.10	11.40	14.16	11.45	
Voltaje a potencia máxima (V _{mp} /V)	41.80	38.83	41.95	38.97	42.10	39.11	42.25	39.25	42.42	39.40	
Corriente a potencia máxima (I _{mp} /A)	13.04	10.49	13.12	10.56	13.19	10.61	13.26	10.67	13.32	10.72	
Eficiencia del módulo (%)	21.1		21.3		21.5		21.7		21.9		

Parámetros operativos

Temperatura de funcionamiento	-40°C ~ +85°C
Tolerancia de potencia nominal (W)	0 ~ 3%
Tolerancia de Voc e Isc	±3%
Tensión máxima del sistema	DC1500V (IEC/UL)
Capacidad máxima del fusible	25A
Temperatura de Operación Nominal de la célula	45±2°C
Nivel de Protección	Class II
Clasificación de resistencia al fuego	UL tipo 1 o 2 IEC Class C

Carga mecánica

Máxima carga estática en superficie frontal	5400Pa
Máxima carga estática en superficie trasera	2400Pa
Test de granizo	Granizo de 25mm a la velocidad de 23m/s

Coefficientes de temperatura (STC)

Coefficiente de temperatura en Isc	+0.050%/°C
Coefficiente de temperatura en Voc	-0.265%/°C
Coefficiente de temperatura en P _{max}	-0.340%/°C

ANEXO IV

CÁLCULOS ELÉCTRICOS

En esta sección se desarrollarán todos los cálculos que se deberían de tener en cuenta para nuestra instalación fotovoltaica. Por cuestiones de tiempo y alcance se desarrollan de manera cualitativa, pero para futuros trabajos se ha decidido incluir, he realizado una investigación de los cálculos para una planta solar fotovoltaica.

TENSIÓN NOMINAL Y CAÍDA DE TENSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE

Nuestra instalación tendrá 400 V entre sus fases y 230 V entre fase neutro. Asimismo, las caídas de tensión se asegurarán de que sean menores al 1,5% para la corriente continua y alterna.

CABLEADO DE CORRIENTE CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA

En este apartado se tendrá en cuenta lo establecido en la normativa: ITC-BT-40 y la tabla 52-B2 de la norma UNE 20460-5-523.

- Cableado en corriente continua

Los cables utilizados en la instalación fotovoltaica son de cobre y aluminio, y se han diseñado para garantizar una caída de tensión inferior al 1,5%, lo cual minimiza las pérdidas de potencia. Para ello, se utilizan cables específicos, como el incluido en los módulos para el cableado interno y H1Z2Z2 Cu para la conexión al inversor, que cumplen normas de aislamiento superiores a 1500V y doble protección (clase II). Asimismo, están protegidos contra la intemperie, los rayos UV y las altas temperaturas y se conectan con conectores MC-4 con protección IP-65.

- ***Cableado en corriente alterna***

El cableado de CA, desde la salida del inversor hasta el cuadro de baja tensión, está compuesto por cables de cobre con aislamiento de poliolefina del tipo RZ1-K. Este tipo de cable se utiliza para la conexión entre el cuadro principal de la instalación fotovoltaica y el punto de conexión de la instalación. Las secciones se han dimensionado para garantizar una caída de tensión inferior al 1,5%.

PROTECCIONES

Las protecciones de la instalación se dimensionan bajo el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y las normas aplicables. Se instalará un cuadro general de protección a la salida de la instalación, así como medidas específicas de protección contra cortocircuitos, derivaciones de corriente continua, sobretensiones, subtensiones, sobrefrecuencias, subfrecuencias y contactos directos e indirectos. Además, se garantiza la correcta puesta a tierra de acuerdo con lo establecido en el R.D. 842/2002 de 2 de agosto y R.D. 337/2014 de 9 de mayo.

En cuanto al cálculo de las protecciones las principales protecciones:

- Protección contra cortocircuitos

$$I_{cc} = \frac{U_n}{Z_s} \quad [4]$$

Siendo:

- I_{cc} : Intensidad de cortocircuito
- U_n : Tensión nominal (V)

- Z_S : impedancia de corto desde el origen hasta el punto de falta.
- Protección contra derivaciones de CC

$$I_{fusible} = k \cdot I_{SC \text{ módulo}} \quad [5]$$

Siendo:

- $I_{fusible}$: Intensidad de corto del generador fotovoltaico
- k: Factor de seguridad (1,25)
- $I_{SC \text{ módulo}}$: corriente de corto del módulo fotovoltaico

- Protección contra sobretensiones

Para esta las transitorias se instalarán DPS (descargadores de sobretensión) en los puntos clave. Se elegirá un nivel de protección (U_p) que tiene que ser menor al soportado por los elementos de nuestra planta. Asimismo, se deberán elegir unos DPS que tengan una descarga superior a la corriente transitoria máxima. En cuanto a las permanentes serán: $1,1 \cdot U_N$

- Protección contra subtensiones y sobrefrecuencias

En esta protección se instalarán relés de monitoreo que desconectan la instalación en caso de tener una tensión o frecuencia que sea menor al rango permitido. En el caso de las subtensiones generalmente son cuando son un 90% de la tensión nominal. En cuanto a las de subfrecuencia será cuando es menor a 47 Hz.

- Protección contra contactos directos e indirectos

Se utilizarán protecciones que serán barreras físicas acorde al reglamento R.E.B.T. para prevenir incidentes con los contactos directos. Para los contactos indirectos se asegurará tener una puesta a tierra para los elementos metálicos y se dimensionará un interruptor diferencial:

$$I_{\Delta n} \leq \frac{50 V}{R_A} \quad [6]$$

Siendo:

- $I_{\Delta n}$: Intensidad diferencial nominal del interruptor (mA)
- R_A : Resistencia de puesta a tierra (Ω)

Asimismo, se asegurará que la resistencia a tierra cumple con el reglamento ($<10 \Omega$).

PUESTA A TIERRA

La instalación de conexión a tierra se adecuará a las regulaciones VDE y DIN, empleando componentes que cumplan con las especificaciones DIN48801-48852. Se pondrán en marcha acciones para asegurar la protección de individuos y dispositivos, incluyendo las defensas de los inversores fotovoltaicos, acorde a la legislación europea. Las componentes metálicas de las estructuras, las carcasas de los inversores y otros componentes metálicos que puedan interactuar con partes activas se vincularán a un sistema de tierras distinto al neutro del transformador. Este sistema se compone de un cable de cobre desnudo de 50 mm² vinculado a la conexión terrestre, con derivaciones separadas hacia las estructuras y componentes metálicos. Además, se colocará una arqueta para la comprobación de tierras.

Según el R.D. 842/2002 y R.D. 337/2014 el cálculo de la resistencia de puesta a tierra R_A se calcula:

$$R_A = \rho/L$$

[7]

Siendo:

- ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$)
- R_A : Resistencia de puesta a tierra (Ω)
- L : Longitud del electrodo enterrado

Asimismo, se comprobará que cumple con los requisitos y con los valores máximos permitidos.

SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

La sección es distinta para los tramos de continua y alterna. Este cálculo considera la sección de los conductores en CC y la intensidad de corto de cada subcampo de módulos fotovoltaicos y la tensión máxima de funcionamiento por grupos. En cambio, para la corriente alterna se basará en la intensidad máxima que puede generar cada inversor por línea.

La sección de los conductores se dimensiona según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión con los siguientes criterios:

- Compatibilidad de los módulos fotovoltaicos con los inversores.
- Intensidad máxima admisible.
- Mínima caída de tensión permitida.
- Selección adecuada de protecciones de sobreintensidades.

Además, para el cálculo de la intensidad máxima admisible se han aplicado factores de corrección por agrupación de conductores y por la temperatura ambiente. Los conductores utilizados serán de cobre tipo H1Z2Z2-K con aislamiento de 1,8 kV para corriente continua.

En corriente alterna, se emplearán conductores de cobre o aluminio tipo RZ1-K 0,6/1 kV con doble aislamiento, según la norma UNE 21-123.

FORMULAS UTILIZADAS

Para simplificar todos los cálculos se van a escribir los procedimientos de manera teórica con todas las fórmulas.

En todos los cálculos se atiende a la caída de tensión y corriente admisibles.

- *Compatibilidad módulos-inversor*

La compatibilidad del campo fotovoltaico en relación de los inversores a utilizar tendrá que ser comprobada mediante tensiones y corrientes, cuyas condiciones a cumplir serán las siguientes: La compatibilidad del inversor con el campo fotovoltaico en tensión se verifica mediante las siguientes expresiones:

$$V_{m\acute{a}x\ inversor} > n_{mod\ serie} * V_{oc\ m\acute{a}xSTC} \quad [8]$$

A la vez que se debe de cumplir simultáneamente la siguiente condición:

$$V_{m\acute{i}n\ funcionamiento\ inversor} \leq n_{mod\ serie} * V_{mp\ m\acute{i}nSTC} \quad [9]$$

Siendo:

- $V_{m\acute{a}x\ inversor}$ y $V_{m\acute{i}n\ funcionamiento\ inversor}$ datos obtenidos de la ficha técnica del inversor a utilizar en cuestión.
- $n_{mod\ serie}$ número de módulos fotovoltaicos dispuestos en serie.
- $V_{oc\ m\acute{a}xSTC}$ y $V_{mp\ m\acute{i}nSTC}$ las tensiones máximas de circuito abierto y mínima de funcionamiento en máxima potencia respectivamente (en voltios) en condiciones STC.

Los dos últimos parámetros serán necesarios evaluarlos mediante la siguiente ecuación:

$$V_{T^{\circ}C} = V_{STC} + \alpha * V_{STC} * (T - 25) \quad [10]$$

Siendo:

- V_{STC} la tensión en condiciones estándar (STC) en voltios.
- α un coeficiente de variación de tensión en función de la temperatura (%/°C) según ficha técnica del módulo.
- T la temperatura en grados Celsius (°C).

La compatibilidad del inversor con el campo fotovoltaico en intensidad se verifica mediante la siguiente expresión:

$$I_{m\acute{a}x\ sc\ inversor} > n_{strings\ MPPT} * I_{sc\ m\acute{a}x\ m\acute{o}dulo} \quad [11]$$

Siendo:

- $I_{m\acute{a}x\ sc\ inversor}$ la intensidad máxima admisible en amperios por seguidor MPPT del inversor
- $n_{strings\ MPPT}$ número de strings o cadenas fotovoltaicas conectadas por seguidor MPPT.
- $I_{sc\ m\acute{a}x\ m\acute{o}dulo}$ la intensidad máxima de cortocircuito del módulo fotovoltaico en amperios en condiciones.

Al igual que ocurría con la tensión, este último parámetro será necesario evaluarlo mediante la siguiente ecuación:

$$I_{sc T^{\circ}C} = I_{sc STC} + \alpha * I_{sc STC} * (T - 25) \quad [12]$$

Siendo:

- $I_{sc STC}$ la intensidad de cortocircuito en condiciones estándar (STC) en amperios.
- α un coeficiente de variación de tensión en función de la temperatura (%/°C) según ficha técnica del módulo.
- T la temperatura en grados Celsius (°C).

Finalmente, conociendo tanto las características indicadas por los fabricantes del módulo fotovoltaico y de los inversores en sus respectivas fichas técnica, la máxima tensión es evaluada a -10°C y la máxima intensidad a 60°C.

- ***Intensidad máxima admisible***

Para los conductores de corriente continua debe cumplirse la siguiente condición:

$$I_b \leq F * I_z \quad [13]$$

Siendo:

- I_b : la intensidad absorbida por el circuito en amperios, mayorada un 125% de la intensidad nominal según se indica en la ITC-BT-40, apdo.5., la cual dependiendo de la naturaleza del circuito será:
 - **Corriente continua:** en este caso se considerará la $I_{sc STC}$ que se indica en la ficha técnica del módulo multiplicada por 1.25 como se ha indicado.
 - **Corriente alterna:** en este caso se considerará la I_{max} de salida del inversor según su ficha técnica multiplicada por 1,25 como se ha indicado.
- I_z : Intensidad máxima admisible del cable según table B.52.5 norma UNE-HD 60364-5-52:2022.
- F : Factor de corrección según agrupación de conductores conforme a tabla Tabla B.52.17 norma UNE-HD 60364-5-52:2022.

- ***Mínima caída de tensión en corriente continua***

Para la instalación de corriente continua según se indica en la ITC-BT-40. Apdo.5. la caída de tensión máxima para un elemento generador de energía se limita en 1,5% de su tensión nominal, desde el punto de generación hasta su conexión a la red, en este caso para la instalación de corriente continua fijaremos ese punto frontera en la conexión hasta las entradas CC del inversor en cuestión.

El cálculo de la caída de tensión en voltios viene determinado por la siguiente expresión:

$$v = \frac{2 * I * (L + n_{mod})}{\gamma * S} \quad [14]$$

Siendo:

- I : intensidad absorbida en amperios, en este caso se ha considerado la máxima que puede darse en el módulo fotovoltaico en el punto de máxima potencia (Imp máx.)
- L : longitud del circuito en metros.
- γ : conductividad del conductor, en este caso cobre a 90°C.
- n_{mod} : número de módulos (sumar de longitud de interconexión entre módulos suponiendo 1 metro por módulo)
- S : sección del conductor en mm².

- ***Mínima caída de tensión en corriente alterna***

Haciendo uso del condicionante del apartado anterior, se limitará la caída de tensión en 1,5% de su tensión nominal, desde el punto de generación hasta su conexión a la red, en este caso para la instalación de corriente alterna fijaremos ese punto frontera en la conexión en el cuadro general de la instalación fotovoltaica desde la salida CA del inversor.

El cálculo de la caída de tensión en voltios viene determinado por las siguientes expresiones, dependiendo de si se trata de CA monofásica o trifásica:

Para corriente alterna monofásica:

$$v = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \cos\varphi}{\gamma \cdot S} \quad [15]$$

Para corriente alterna trifásica:

$$v = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot \cos\varphi}{\gamma \cdot S} \quad [16]$$

Siendo:

- I Intensidad nominal de salida del inversor en amperios.
- L longitud del circuito en metros.
- γ conductividad del conductor a 90°C, cuyo valor es 44 m/Ωmm² para cobre y 28 m/Ωmm² para aluminio.
- S sección del conductor en mm².
- $\cos\varphi$ es el factor de potencia, para este caso se considerará 1.
- U tensión nominal en voltios de la línea:
 - 400 V para CA trifásica
 - 230 V para CA monofásica
- ***Selección de elementos de protección contra sobreintensidades en CC***

Según se indica en la norma UNE-HD 60364-7-712 Instalaciones eléctricas de Baja Tensión Parte 7-712: Requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación solar fotovoltaica (FV), apdo. 712.432.102, para la protección de cadenas fotovoltaicas mediante fusibles gPV se debe cumplir la siguiente condición:

$$1,1 * I_{SC \text{ MAX CADENA}} \leq I_n \leq I_{MOD_MAX_OCPR} \quad [17]$$

Siendo:

- $I_{SC \text{ MAX CADENA}}$ la intensidad máxima de cálculo para la cadena en amperios, cuyo valor es $1,25 * ISC \text{ STC}$ (dato conocido mediante la ficha técnica del módulo).
- I_n intensidad nominal del dispositivo en amperios (fusible gPV).
- $I_{MOD_MAX_OCPR}$ intensidad máxima de operación del módulo fotovoltaico en amperios (dato conocido mediante la ficha técnica del módulo como Max Fuse Rating)

Adicionalmente, también debe cumplirse la siguiente condición en cuanto a tensiones de funcionamiento de los elementos:

$$U_{OC \text{ MAX}} \leq U_e \quad [18]$$

Siendo:

- $U_{OC \text{ MAX}}$ la tensión máxima de operación de la cadena fotovoltaica en voltios.
- U_e tensión nominal en voltios del elemento de protección.
- ***Selección de elementos de protección contra sobrecargas en CA***

La protección a sobrecargas de una línea por parte de un elemento de protección se consigue cuando se verifica la siguiente expresión:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad [19]$$

Siendo:

- I_b la intensidad absorbida por el circuito en amperios, en este caso será la intensidad nominal de salida del inversor (dato proporcionado en ficha técnica del equipo).

- I_n la intensidad nominal del dispositivo de protección en amperios.
- I_z intensidad máxima admisible del conductor, este dato será obtenido haciendo uso de la tabla B.52.5 norma UNE-HD 60364-5-52:2022.

ODS



ODS 4: Educación de calidad: Un correcto uso de las placas solares favorecerá a los profesionales a realizar un uso adecuado de los recursos.

ODS 7: Energía no contaminante: este punto se describe por sí solo. La instalación de placas solares de autoconsumo producirá energía totalmente limpia y no contaminante, al igual que será una energía fácil de obtener para el empresario.

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico: como se ha resaltado con anterioridad, el abaratamiento de los costes energéticos favorece la gestión eficiente de los recursos para mejorar la productividad de las PYMEs.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura: al generar su propia energía renovable, la empresa, contribuye mitigar el cambio climático, al igual que la transición a las energías limpias que impulsa un modelo más sostenible a largo plazo. Por tanto, favorece la

sostenibilidad industrial. En cuanto a la innovación tecnología es evidente que instalar placas solares es innovador, además la empresa fomenta la innovación demostrando liderazgo y favoreciendo su imagen frente clientes y socios.

ODS 10: Reducción de las desigualdades: generar un acceso equitativo a la energía favoreciendo la obtención de energía para regiones más desfavorecidas. También reduce las desigualdades económicas para fomentar una distribución equitativa de los recursos. De la misma forma, sensibilizan al resto de empresas con un liderazgo inclusivo con los clientes y comunidades marginales.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles: se alinea a la perfección con el título y no precisa de mayor explicación que la ya nombrada anteriormente.

ODS 12: Producción y consumo responsables: las placas de autoconsumo favorecen la gestión eficiente de los recursos al abaratar costes de producción. Alineándose una vez más con otro de los objetivos de la agenda 2030.

ODS 13: Acción por el clima: el fomento de la energía solar fotovoltaica es directamente proporcional a ayudar el cambio climático. Puesto que se reduce el consumo de las energías contaminantes.

ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres: evitar impactos sobre hábitats naturales reduciendo el consumo energético de fuentes de energía no renovables, mitigando el cambio climático o el aprovechamiento del sol es una forma directa de ayudar a la preservación de la vida de ecosistemas terrestres.