



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**Optimización energética de una casa residencial
en una finca rural**

Autor: Rafael Díaz Gutiérrez-Manchón

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid, España

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

Optimización energética de una casa residencial en una finca rural

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

curso académico **2023/24** es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Rafael Díaz Gutiérrez-Manchón

Fecha: 18/ 07/ 2024



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Iñigo Sanz Fernández

Fecha://

SANZ FERNANDEZ
IÑIGO -
52367115W

Firmado digitalmente
por SANZ FERNANDEZ
IÑIGO - 52367115W
Fecha: 2024.07.19
23:00:43 +02'00'



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Optimización energética de una casa residencial en una finca rural

Autor: Rafael Díaz Gutiérrez-Manchón

Director: Iñigo Sanz Fernández

Madrid, España

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UNA CASA RESIDENCIAL EN UNA FINCA RURAL

Autor: Díaz Gutiérrez-Manchón, Rafael.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Se ha elaborado el estudio de la optimización energética de una casa residencial en una finca rural, en la provincia de Ciudad Real, España. Con motivo de reducir las emisiones contaminantes y el coste total del consumo, se ha decidido implantar una instalación fotovoltaica. Capaz de generar, al menos, lo mismo que se consume, así como resultar rentable y provechosa para la propiedad.

Palabras clave: casa residencial, eficiencia energética, instalación fotovoltaica

1. Introducción

El trabajo ha sido centrado en el punto de consumo más demandante de la finca rural, su casa residencial, de uso doméstico. Tras haber evaluado las distintas alternativas para mejorar su eficiencia energética y reducir emisiones, se optó por la generación fotovoltaica.

Se ubica en la zona de los Yébenes, provincia de Ciudad Real, España. Al haber una alta irradiancia solar en esta área, así como terreno suficiente donde aplicarla, la instalación de energía fotovoltaica resulta ser una opción ideal.

Se seguirán distintos objetivos y motivos por los que se ha llevado a cabo este trabajo, que han sido alineados con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Principalmente son: reducir la dependencia energética de la red, así como su coste total, y reducir parte de las emisiones para así ser parte del cambio hacia un planeta más sostenible.

2. Definición del proyecto

El proyecto ha sido definido siguiendo las siguientes diferentes fases. La primera, fue comprender extensamente el funcionamiento de la tecnología fotovoltaica. En la segunda, se establecieron todos los parámetros necesarios para describir el punto de consumo en sí, siendo estos: superficie de instalación, condiciones meteorológicas, consumo e impacto medioambiental. La tercera fase, la más importante, sirvió para realizar y establecer los cálculos en el programa *PVSyst* con el que se podrá hacer la simulación final y óptima de la instalación. Con afán de reconocer la rentabilidad del trabajo se ha incluido la cuarta fase, para comprobar si la instalación es oportuna. Por último, durante la quinta fase, se analizaron los resultados de producción y de pérdidas que tiene el sistema definitivo.

3. Descripción del sistema

El sistema ha sido desarrollado, como ya se ha mencionado, mediante el programa *PVSyst*. Tras haber definido el área disponible de instalación (de la parcela adyacente),

el consumo anual (a través de un porcentaje del total de la factura eléctrica), haber introducido la ubicación (con su base de datos de los parámetros solares y ambientales), y los cálculos propios aportados (orientación, potencia nominal, etc.), se ha podido entonces establecer el sistema definitivo. Este se ha comprendido en utilizar 4 cadenas de 18 módulos fotovoltaicos dispuestos en serie. Así como el empleo de dos inversores de 12 kW. Resultando en un área útil final de la parcela adyacente de 146 m². Se incluye la Ilustración 1 para mostrar el sistema que se va a utilizar.

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Trina Solar - TSM-DE1SH-(II)-400	18	4
SMA - Sunny Tripower STP 12-50	2	1

Núm. de módulos	72
Área del módulo	146 m ²
Núm. de inversores	2
Potencia FV nominal	28.8 kWp
Potencia de CA nominal	24.0 kWCA
Proporción Pnom	1.200

Ilustración 1: Resumen de la instalación óptima. Fuente: PVSyst

4. Resultados

De entre los resultados más relevantes de este trabajo hay que mencionar: los valores de producción obtenidos con este sistema definido y los valores otorgados por el análisis económico sobre la rentabilidad de la instalación.

El primero se ha conseguido con la simulación del programa *PVSyst*. Garantizando que, de media, se obtendrá anualmente una producción de 49,1 MWh, siendo un valor más elevado (en cualquier periodo del año excepto las horas en las que no haya luz) al consumo, que es de 38,476 MWh. Esta producción se observa en la Ilustración 2.

Producción del sistema	49.1 MWh/año	Prod. normalizada	4.67 kWh/kWp/día
Prod. específica	1706 kWh/kWp/año	Pérdidas del conjunto	0.70 kWh/kWp/día
Proporción de rendimiento	0.853	Pérdidas del sistema	0.10 kWh/kWp/día

Ilustración 2: Resultados principales de la producción del sistema definitivo. Fuente: PVSyst

En cuanto al estudio económico, se ha realizado un balance acumulado, durante los 25 años de vida útil de los componentes. Éste se ha calculado a partir de la diferencia entre: el coste anual (acumulado) de la casa residencial sin la instalación, gastando un importe año

tras año constante debido a la factura de la luz; y, por otro lado, el coste anual (acumulado) habiendo invertido inicialmente en la instalación de este sistema, pero ahorrando un 70% de la factura eléctrica todos los años. Este porcentaje es una estimación de lo que supone el consumo anual durante las horas globales del rendimiento de las placas solares, siendo el 30% restante los momentos en los que la instalación tendrá que consumir energía de la distribuidora eléctrica (se da en las horas sin suficiente irradiancia solar). Esto ha resultado en la diferencia positiva de acabar ahorrando 26563,85 €. Tal y como se expone en la Tabla 1. Así como haber obtenido un VAN positivo de 2942,14 €.

Año	Inversión Inicial	Mantenimiento	Sin instalación	Con instalación	Balance Acumulado
1º	-19814,5	-292,83	-3068,52	-21027,89	-17959,37
2º	0	-292,83	-6137,04	-22241,27	-16104,23
3º	0	-292,83	-9205,56	-23454,66	-14249,10
4º	0	-292,83	-12274,08	-24668,04	-12393,96
5º	0	-292,83	-15342,6	-25881,43	-10538,83
6º	0	-292,83	-18411,12	-27094,82	-8683,70
7º	0	-292,83	-21479,64	-28308,20	-6828,56
8º	0	-292,83	-24548,16	-29521,59	-4973,43
9º	0	-292,83	-27616,68	-30734,97	-3118,29
10º	0	-292,83	-30685,2	-31948,36	-1263,16
11º	0	-292,83	-33753,72	-33161,75	591,97
12º	0	-292,83	-36822,24	-34375,13	2447,11
13º	0	-292,83	-39890,76	-35588,52	4302,24
14º	0	-292,83	-42959,28	-36801,90	6157,38
15º	0	-292,83	-46027,8	-38015,29	8012,51
16º	0	-292,83	-49096,32	-39228,68	9867,64
17º	0	-292,83	-52164,84	-40442,06	11722,78
18º	0	-292,83	-55233,36	-41655,45	13577,91
19º	0	-292,83	-58301,88	-42868,83	15433,05
20º	0	-292,83	-61370,4	-44082,22	17288,18
21º	0	-292,83	-64438,92	-45295,61	19143,31
22º	0	-292,83	-67507,44	-46508,99	20998,45
23º	0	-292,83	-70575,96	-47722,38	22853,58
24º	0	-292,83	-73644,48	-48935,76	24708,72
25º	0	-292,83	-76713	-50149,15	26563,85

Tabla 1: Estudio económico del balance acumulado con y sin la instalación definitiva. Fuente: Excel

5. Conclusiones

Se puede concluir el proyecto afirmando que esta instalación fotovoltaica no solo es viable técnicamente, sino también económicamente rentable, proporcionando un ahorro significativo y contribuyendo a la sostenibilidad medioambiental.

Lo primero se demuestra al observar cómo la generación del sistema definitivo resulta ser mayor, de media, durante todos los periodos mensuales del año, al consumo mostrado en la factura eléctrica contratada.

Para la viabilidad económica, atendiendo a la exigencia del presupuesto y al plazo máximo de amortización de 12 años (dado por el propietario), se aprecia cómo la inversión es rentable una vez transcurridos los primeros 10 años desde la instalación.

Con motivo de mostrar el lugar y área necesaria de instalación, se ha añadido un croquis con los 4x18 módulos fotovoltaicos orientados correctamente, en la parcela adyacente a la casa residencial. El área restante se usará en caso de que sea necesaria a la hora de instalar los módulos, además, garantizará el máximo rendimiento posible. Se encuentra en la Ilustración 3.



Ilustración 3: Croquis del sistema definitivo. Fuente: Sigpac

ENERGY OPTIMIZATION OF A RESIDENTIAL HOUSE IN A RURAL PROPERTY

Author: Díaz Gutiérrez-Manchón, Rafael.

Supervisor: Sanz Fernández, Iñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

This project shows the study about the energy optimization of a residential house in a rural property inside the province of Ciudad Real, Spain. With the objective of reducing the polluting emissions and the total consumption costs, it has been decided to implement a photovoltaic installation. Which will be able to generate as much as is consumed, and so, turn out to be profitable and advantageous for the property.

Keywords: residential house, energy efficiency, photovoltaic installation.

1. Introduction

This project has been focused on the most energy demanding point of the rural property: the residential house of domestic use. Once different alternatives have been evaluated, to improve the energy efficiency and reduce emissions, the photovoltaic generation was chosen.

It is located at the Yébenes area, province of Ciudad Real, Spain. Since there is a high solar irradiance, so there is enough area available where to install, the use of photovoltaic energy turns out to be an ideal option.

Different objectives and motives will be followed throughout the study, which have been aligned with the Sustainable Development Goals (SDG). Mainly, these are: reducing the grid energy dependence, its total cost, and reducing the emissions, so changing the planet into a more sustainable place is between the ideals.

2. Definition of the project

It has been defined following the upcoming phases. The first one consisted in completely understanding the photovoltaic technology. In the second, all the necessary parameters were established so the consumption point could be perfectly described, these were: installation surface, meteorology, consumption and environmental impact. On the third phase, the most important one, every specific calculation on the program *PVSyst* was evaluated, done this, the final and optimal simulation of the installation could be presented. With eagerness to acknowledge the cost effectiveness of this job, the fourth phase was included, proving the installation was alright. Finally, during the fifth phase, the production and losses results about the final system were analysed.

3. System description

The system has been developed, as mentioned, through the *PVSyst* program. Once the accessible area for the installation was defined (in the adjacent garden), the annual consumption (with a percentage of the electric bill), the location (with the meteorologic

and solar parameters in its data base), and own calculations (orientation, nominal power, etc.), it was possible, then, to stablish the definitive system. This was formed by 4 chains of 18 photovoltaic modules arranged in series, each chain. As the use of two power inverters of 12 kW. Resulting in a final area, in the adjacent plot, of 146 m². The Ilustración 4, summarizes it all.

Subconjunto

Nombre y orientación del subconjunto
 Nombre:
 Oriente: Inclinación: Azimut:

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

Selección del módulo FV
 Disponible ahora: Filtro: Núm. máximo de módulos:
 Trina Solar:
 Usar optimizador
 Dimensiona. voltaje: Vmpp (60°C) **36.2 V**
 Voc (-10°C) **55.4 V**

Selección del inversor
 Disponible ahora: 50 Hz 60 Hz
 SMA:
 Núm. de inversores: Voltaje de funcionamiento: **210-800 V** Poder global inversor: **24.0 kWca**
 Utilizar multi-MPPT Voltaje máximo de entrada: **1000 V** **inversor con 3 MPPT** **Reparto de potencia en este inversor**

Diseño del conjunto
 Núm. de módulos y cadenas
 Mód. en serie: entre 6 y 18
 Núm. cadenas: entre 3 y 4
 Pérdida sobrecarga:
 Proporción Pnom:
 Núm. de módulos: **72** Área: **146 m²**

Condiciones de operación
 Vmpp (60°C): **651 V**
 Vmpp (20°C): **762 V**
 Voc (-10°C): **998 V**
 Irradia. plano: **1000 W/m²**
 Impp (STC): **39.0 A**
 Isc (STC): **40.7 A**
 Isc (en STC): **40.7 A**
 Máx. en datos STC
 Potencia de funcionamiento máx.: **28.5 kW**
 (en 1088 W/m² y 50°C)
Potencia nom. conjunto (STC) 28.8 kWp

Lista de subconjuntos

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Generador FV		
Trina Solar - TSM-DE15H-(II)-400	18	4
SMA - Sunny Tripower STP 12-50	2	1

Resumen sistema global

Núm. de módulos	72
Área del módulo	146 m ²
Núm. de inversores	2
Potencia FV nominal	28.8 kWp
Potencia de CA nominal	24.0 kWCA
Proporción Pnom	1.200

Ilustración 4: Summary of the optimal installation. Source: PVSyst

4. Results

Among every relevant result on this project, the production values obtained with this optimal system must be one worth to mention. As so, the values granted by the economic analysis about the cost effectiveness of the installation.

The first one has been obtained by the persistent use of the PVSyst program. Granting that, on average, a production of 49.1 MWh will be obtained. This value is higher (in any period of the year except at the hours when there is no light) than the self-consumption, which is of 38.476 MWh. This production is seen in the Ilustración 5.

Resultados principales			
Producción del sistema	49.1 MWh/año	Prod. normalizada	4.67 kWh/kWp/día
Prod. específica	1706 kWh/kWp/año	Pérdidas del conjunto	0.70 kWh/kWp/día
Proporción de rendimiento	0.853	Pérdidas del sistema	0.10 kWh/kWp/día

Ilustración 5: Principal results of the definitive system production. Source: PVSyst

In relation to the economic study, the accumulated balance has been carried out, for a useful life of the components around 25 years. It has been calculated from the difference between: the annual (accumulated) cost of the residential house without the installation, spending a yearly constant amount due to the electricity bill; and, in the other hand, the annual (accumulated) cost of installing the system, having into account

the initial investment and the maintenance cost but, obviously, saving 70% of the totality of the bill every year. This percentage is an estimate of what the annual consumption is along the global hours where the installation is being productive, being the remaining 30% the number of moments when the photovoltaic modules are not receiving enough irradiance and the house will consume from the electric distributor. This has resulted in a positive difference of finally saving 26563.85 €. So is shown in the Tabla 2. Also, a positive NPV of 2942.14 € was obtained.

Year	Initial Investment	Maintenance	Without Installation	With Installation	Accumulated Balance
1º	-19814,5	-292,83	-3068,52	-21027,886	-17959,37
2º	0	-292,83	-6137,04	-22241,272	-16104,23
3º	0	-292,83	-9205,56	-23454,658	-14249,10
4º	0	-292,83	-12274,08	-24668,044	-12393,96
5º	0	-292,83	-15342,6	-25881,43	-10538,83
6º	0	-292,83	-18411,12	-27094,816	-8683,70
7º	0	-292,83	-21479,64	-28308,202	-6828,56
8º	0	-292,83	-24548,16	-29521,588	-4973,43
9º	0	-292,83	-27616,68	-30734,974	-3118,29
10º	0	-292,83	-30685,2	-31948,36	-1263,16
11º	0	-292,83	-33753,72	-33161,746	591,97
12º	0	-292,83	-36822,24	-34375,132	2447,11
13º	0	-292,83	-39890,76	-35588,518	4302,24
14º	0	-292,83	-42959,28	-36801,904	6157,38
15º	0	-292,83	-46027,8	-38015,29	8012,51
16º	0	-292,83	-49096,32	-39228,676	9867,64
17º	0	-292,83	-52164,84	-40442,062	11722,78
18º	0	-292,83	-55233,36	-41655,448	13577,91
19º	0	-292,83	-58301,88	-42868,834	15433,05
20º	0	-292,83	-61370,4	-44082,22	17288,18
21º	0	-292,83	-64438,92	-45295,606	19143,31
22º	0	-292,83	-67507,44	-46508,992	20998,45
23º	0	-292,83	-70575,96	-47722,378	22853,58
24º	0	-292,83	-73644,48	-48935,764	24708,72
25º	0	-292,83	-76713	-50149,15	26563,85

Tabla 2: Economic study of the accumulated balance with and without the definitive installation. Source:

Excel

5. Conclusions

The project can be concluded asserting that this photovoltaic installation not only is technically viable, but also is economically profitable, providing a significant saving and contributing to the environmental sustainability.

The first is shown when the generation of the definitive system results in being higher, on average, during any period of the year, to the consumption, which is showed at the hired electricity bill.

For the economic viability, attending the budget requirement and a maximum amortization period of 12 years, given by the owner, it is appreciated how the investment is profitable once 10 years with the installation have passed.

With the objective of showing the place and the necessary area of installation, a sketch with the 4x18 photovoltaic modules, properly oriented, has been added. It has been placed in the adjacent garden to the residential house. The extra surface will be used in case it is needed when installing them, also, it will grant the maximum performance. The sketch is found in the Ilustración 6.



Ilustración 6: Sketch of the definitive system. Fuente: Sigpac.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción y Objetivos del proyecto	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Motivación del proyecto.....	10
1.3 Objetivos del trabajo	11
1.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	13
1.5 Metodología del trabajo.....	15
Capítulo 2. Descripción de la Tecnología.....	17
2.1 Energía solar fotovoltaica.....	17
2.1.1 Principios Básicos de Funcionamiento	17
2.1.2 Aprovechamiento del Efecto Fotovoltaico	20
2.1.3 Orientación de las Placas Solares.....	20
2.2 Ventajas e Inconvenientes	22
2.3 Componentes y Sistemas de instalación.....	23
Capítulo 3. Descripción del Punto de consumo.....	27
3.1 Descripción de la Superficie de Instalación	27
3.2 Condiciones meteorológicas.....	30
3.3 Descripción del consumo	31
3.4 Impacto medioambiental	34
Capítulo 4. Cálculos con PVSyst.....	36
4.1 Justificación.....	36
4.2 Definición del Sistema	36
4.2.1 Datos meteorológicos de la ubicación	36
4.2.2 Orientación e inclinación de los módulos	38
4.3 Sistema Sobredimensionado. Empleo del Área total	40
4.4 Sistema Definitivo. Potencia Necesaria	44
Capítulo 5. Planificación y Estimación Económica Global	50
5.1 Cálculo de los Costes	50
5.2 Rentabilidad de la inversión	52
Capítulo 6. Análisis de Resultados del Sistema Definitivo.....	58

6.1	Análisis de la producción	58
6.2	Análisis de las pérdidas	60
Capítulo 7. Conclusiones.....		64
Capítulo 8. Bibliografía.....		70
ANEXO I: Factura eléctrica		75
ANEXO II: Componentes: Módulos Fotovoltaicos e Inversores		77
ANEXO III: Informe PVSystem.....		83

Índice de figuras

Ilustración 1: Resumen de la instalación óptima. Fuente: PVSyst	8
Ilustración 2: Resultados principales de la producción del sistema definitivo. Fuente: PVSyst	8
Ilustración 3: Croquis del sistema definitivo. Fuente: Sigpac	10
Ilustración 4: Summary of the optimal installation. Source: PVSyst	12
Ilustración 5: Principal results of the definitive system production. Source: PVSyst	12
Ilustración 6: Sketch of the definitive system. Fuente: Sigpac.....	14
Ilustración 7: Irradiancia en España media. Fuente: tuOptometrista [1]	9
Ilustración 8: Explicación de la causa del efecto invernadero. Fuente: VozdeAmerica [4]	11
Ilustración 9: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Fuente: UN [5]	13
Ilustración 10: Explicación del efecto fotovoltaico. Fuente: AreaTecnología [7]	17
Ilustración 11: Representación de la Unión PN y su diferencia potencial. Fuente: Quora [8]	18
Ilustración 12: Representación molecular de la Unión PN. Fuente: Monografías [9]	19
Ilustración 13: Funcionamiento de una placa solar conectada a una carga. Fuente: Aso.Argentina [10]	20
Ilustración 14: Movimiento del sol en el hemisferio norte. Fuente: escholarium [12]	21
Ilustración 15: Módulos fotovoltaicos. Fuente: INNOVA [15]	23
Ilustración 16: Ejemplo de un inversor de corriente. Fuente: AliExpress [16]	23
Ilustración 17: Batería para almacenar la energía solar. Fuente: Solinc [17].....	24
Ilustración 18: Ejemplo de un regulador de carga. Fuente: Grupo F&S [18]	24
Ilustración 19: Posibles estructuras de montaje. Fuente: ADN Solar [19].....	25
Ilustración 20: Croquis del conexionado de los componentes de una instalación fotovoltaica. Fuente: Solarix [20].....	26
Ilustración 21: Imagen de la casa residencial vista desde arriba. Fuente: Google Earth.....	28
Ilustración 22: Vista en detalle desde arriba del tejado y sus numerosos planos inclinados. Fuente: Google Earth.....	28
Ilustración 23: Extensión superficial de la parcela de la instalación. Fuente: Sigpac	29

Ilustración 24: Temperaturas mensuales del año 2023 en la zona de los Yébenes. Fuente: WeatherSpark [21].....	30
Ilustración 25: Cantidad de horas de luz del año 2023 en la zona de los Yébenes. Fuente: WeatherSpark [21].....	31
Ilustración 26: Consumo de la potencia activa por hora del mes de enero de 2024. Fuente: Nexus energía	32
Ilustración 27: Histórico del consumo mensual medio en kWh. Fuente: Nexus energía	33
Ilustración 28: Importe total de la factura eléctrica del mes de enero de 2024. Fuente: Nexus energía	34
Ilustración 29: Origen de la producción de la electricidad de la comercializadora. Fuente: Nexus energía	35
Ilustración 30: Impacto ambiental de la generación de la comercializadora. Fuente: Nexus energía	35
Ilustración 31: Trayectorias solares de la zona en cuestión. Fuente: PVSyst.....	37
Ilustración 32: Datos meteorológicos mensuales de la zona. Fuente: PVSyst	38
Ilustración 33: Orientación e inclinación por defecto del programa. Fuente: PVSyst	39
Ilustración 34: Orientación e inclinación óptimas. Fuente: PVSyst.....	40
Ilustración 35: Módulos fotovoltaicos del sistema sobredimensionado. Fuente: PVSyst...	41
Ilustración 36: Ventaja de sobredimensionar el campo solar. Fuente: Amara NZero [26].	42
Ilustración 37: Inversor del sistema sobredimensionado. Fuente: PVSyst.....	42
Ilustración 38: Resumen de la instalación sobredimensionada. Fuente: PVSyst	43
Ilustración 39: Resultados principales del sistema sobredimensionado. Fuente: PVSyst...	43
Ilustración 40: Módulos fotovoltaicos del sistema óptimo. Fuente: PVSyst.....	45
Ilustración 41: Inversor del sistema óptimo. Fuente: PVSyst	46
Ilustración 42: Resumen de la instalación óptima. Fuente: PVSyst	47
Ilustración 43: Resultados principales del sistema óptimo. Fuente: PVSyst.....	47
Ilustración 44: Definición de la superficie donde estará la instalación fotovoltaica. Fuente: Sigpac	48
Ilustración 45: Histórico del coste mensual medio en €. Fuente: Nexus energía	52
Ilustración 46: Diagrama del punto de equilibrio de la inversión inicial. Fuente: Excel	55
Ilustración 47: Energía útil normalizada por meses del sistema óptimo. Fuente: PVSyst ..	59

Ilustración 48: Proporción del rendimiento por meses del sistema óptimo. Fuente: PVSyst	60
Ilustración 49: Diagrama de Sankey anual de las pérdidas de la instalación. Fuente: PVSyst	61
Ilustración 50: Factores de producción normalizada por meses del sistema óptimo. Fuente: PVSyst	63
Ilustración 51: Histórico del consumo mensual medio en kWh. Fuente: Nexus energía....	66
Ilustración 52: Resumen de la instalación óptima. Fuente: PVSyst	67
Ilustración 53: Análisis de la producción mensual del sistema. Fuente: PVSyst	69
Ilustración 54: Croquis del sistema definitivo en el lugar de instalación. Fuente: Elaboración propia.....	69

Índice de tablas

Tabla 1: Estudio económico del balance acumulado con y sin la instalación definitiva. Fuente: Excel	9
Tabla 2: Economic study of the accumulated balance with and without the definitive installation. Source: Excel	13
Tabla 3: Cálculo anual de la amortización del sistema a instalar. Fuente: Excel	54
Tabla 4: Obtención del VAN de la inversión. Fuente: Excel	57
Tabla 5: Balance acumulado anual de la instalación. Fuente: Excel	68

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Cálculo de la potencia activa por hora total consumida en enero de 2024. Fuente: Elaboración propia.....	32
Ecuación 2: Cálculo de la potencia anual total. Fuente: Elaboración propia	33
Ecuación 3: Cálculo de la potencia nominal del sistema sobredimensionado. Fuente: Elaboración propia.....	41
Ecuación 4: Cálculo de la potencia nominal del sistema óptimo. Fuente: Elaboración propia	45
Ecuación 5: Cálculo del voltaje teórico de funcionamiento por cada cadena. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ecuación 6: Cálculo del precio de los módulos fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia	50
Ecuación 7: Cálculo del precio de los inversores. Fuente: Elaboración propia	50
Ecuación 8: Cálculo de la inversión total. Fuente: Elaboración propia.....	51
Ecuación 9: Cálculo del precio del mantenimiento. Fuente: Elaboración propia	51
Ecuación 10: Cálculo del coste anual de la factura eléctrica. Fuente: Elaboración propia .	52
Ecuación 11: Cálculo de la energía extra generada por el sistema óptimo. Fuente: Elaboración propia.....	53
Ecuación 12: Cálculo de la amortización entre el ahorro final y la inversión inicial. Fuente: Elaboración propia.....	55
Ecuación 13: Fórmula del VAN de la instalación. Fuente: Elaboración propia.....	56

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo consistirá en el extenso y justificado estudio sobre la posible optimización del consumo de las instalaciones más demandantes de una finca rural. Esta es, primordialmente, una casa residencial de uso doméstico con todos los equipos que tiene instalados.

Una vez analizados los correspondientes parámetros del punto comentado, se evaluarán las posibles alternativas para optimizar tanto sus consumos, como su eficiencia y emisiones. De manera que, cuando se hayan escogido las potenciales mejoras (en cuanto a la optimización energética se refiere) de la instalación, se realizará un análisis económico para decidir si la futura instalación sería económicamente ventajosa o no. Por todo ello, se terminará escogiendo aquellas alternativas que faciliten su respectiva aprobación, con el objetivo final de minimizar los costes energéticos de los establecimientos en cuestión.

La propiedad se encuentra en la zona de los Yébenes, provincia de Ciudad Real, España. Debido a las características de la zona: altas cantidades de radiación solar, espacio rural protegido, no demasiadas corrientes eólicas, falta de agua como recurso energético, etc. Se optará por la utilización de fuentes de energías renovables, escogiendo la solar fotovoltaica entre todas ellas ya que es la que mejor se adapta a estas necesidades comentadas.

Pues tal y como se indica en Ilustración 7, en la que se ha colocado el ícono de una cruz para especificar cuál es la zona en cuestión, la irradiancia global media ronda el valor de los $5 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$. Esto hace que se considere a la fuente de energía escogida como una solución perfectamente viable para el objetivo del proyecto. Pues se trata de un valor de

irradiancia suficientemente alto como para tener un buen rendimiento en las placas fotovoltaicas, así como un tipo de energía de fácil y aceptable instalación.

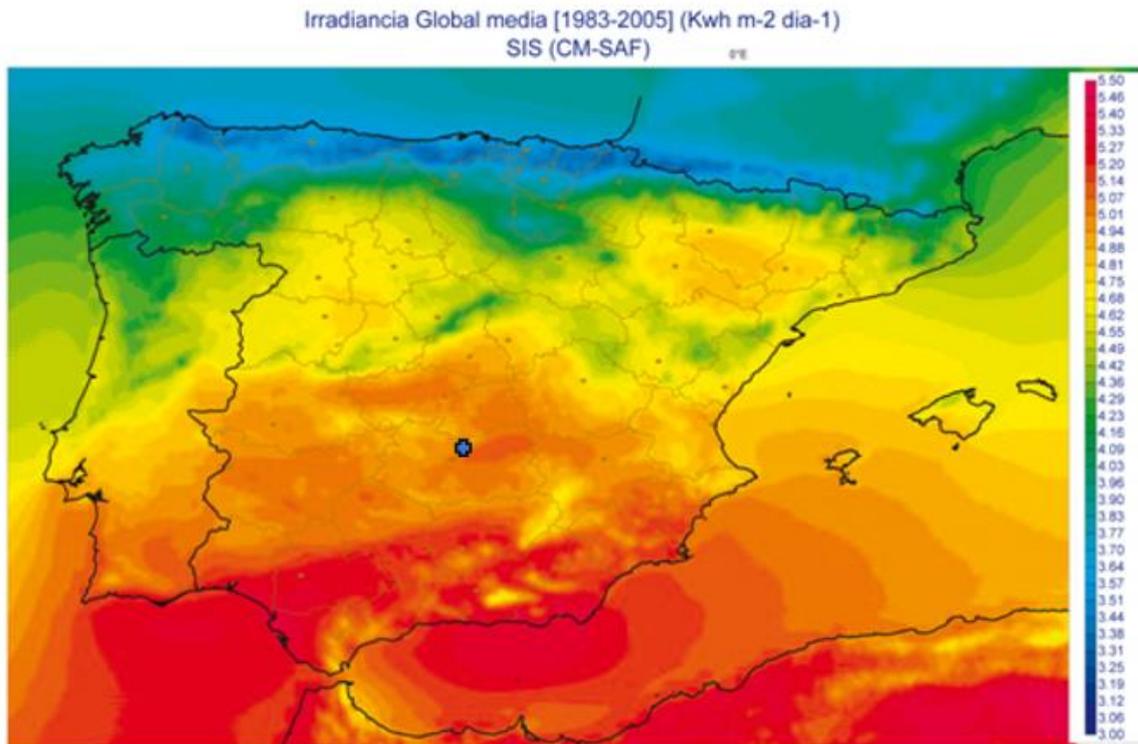


Ilustración 7: Irradiancia en España media. Fuente: tuOptometrista [1]

Como se ha introducido previamente, el principal problema a abordar es el de la excesiva dependencia a la energía contratada, parte de ella distribuida por la red, que permite cumplir con las respectivas operaciones de la instalación.

Esto es por lo que se quiere instalar directamente placas solares que alimenten a la residencia. Cuenta con diferentes aparatos domésticos y luminarias, así como con cocina y puntos de salida de agua. Todos funcionan a través del consumo de la compañía eléctrica contratada.

De manera que, una vez efectuado el estudio oportuno para entender cuál sería la inversión óptima, en cantidad de dinero y de metros cuadrados de placas solares necesarios, se llegará a la elaboración de cómo tendría que ser la instalación capaz de ahorrar el máximo del actual coste.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Los principales alicientes de este estudio son el ahorro económico y la mejora en la eficiencia energética del complejo. Debido a que el lugar presenta un nivel de consumo energético alto, tengo la oportunidad de poder realizar, como ingeniero, el estudio referido a su optimización, cosa que hasta la fecha no habría podido hacer. Siendo la exigencia que este trabajo demanda algo que me ha llamado siempre mucho la atención.

Para comenzar, el hecho de aumentar la eficiencia energética de la instalación siempre ha sido una idea bien establecida en mí, como proyecto a cumplir en algún momento. Desde que entendí que había ciertas zonas con un rendimiento tan bajo, descubrí la necesidad de mejorarlo. Entendiendo el concepto de eficiencia energética como: *la capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos* [2].

Siendo esto mismo lo que le falta a la propiedad. Pues sin haber realizado nunca un estudio sobre su consumo, simplemente se gasta cuanto haga falta con tal de que funcione todo correctamente. Esto se ha hecho así siempre, sin imaginar que se podría ahorrar una grandísima cantidad de energía y obtener el mismo rendimiento. Aumentando, por tanto, la eficiencia energética total del conjunto.

La instalación de placas solares no solo se trata de un tema de ahorro energético, si no también presentará un hito personal en mi vida. Al tratarse de un proyecto cuyo lugar de elaboración está vinculado a mí mismo. A parte, al no ser una cosa sencilla, resulta estimulante poder llegar a ser capaz de plantear y aportar soluciones que nunca se habían puesto sobre la mesa. Así como entender y perfeccionar el hecho de utilizar placas solares, escogidas de una manera óptima (empleando el programa *PVSyst*) y comprendiendo su funcionamiento e instalación en las diferentes ubicaciones.

Por otro lado, el hecho de depender totalmente de la comercializadora de electricidad, como se verá en el apartado 3.3, en la factura de la luz, supone participar en la producción de altos niveles de emisiones de CO₂ a la atmósfera y de residuos radioactivos, ambos

deben ser reprimidos. Los niveles emitidos no son excesivamente preocupantes, pues se trata de la generación de la comercializadora y la casa residencial supone ser un pequeño porcentaje de esta generación total.

No obstante, cualquier nivel de CO₂ evitable debe desaparecer. Pues estos gases afectan directamente al calentamiento global debido al aumento del efecto invernadero que producen. [3]

Con el propósito de querer llegar a un planeta más verde, incluso ser parte de este cambio, si puedo participar en la reducción de estas emisiones, mejor. Por eso se incluye la Ilustración 8, para entender todavía mejor el porqué del efecto invernadero.



Ilustración 8: Explicación de la causa del efecto invernadero. Fuente: VozdeAmerica [4]

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Tal y como se ha introducido en los dos apartados anteriores, los objetivos a cumplir durante la elaboración de este proyecto son, principalmente: la instalación de placas fotovoltaicas en los puntos de consumo de la finca rural, así como la mejora de la

eficiencia energética de todas las instalaciones en su conjunto. Aplicando todos los cálculos necesarios, tanto técnicos como económicos. Así como la preparación y estudio total de la zona para las oportunas instalaciones.

Se detallan más hondamente a continuación:

- Evidentemente, uno de ellos es el de la **mejora y optimización de la eficiencia energética** de la propiedad. Como ya se ha explicado, el requisito fundamental de todo lo elaborado en el trabajo es que se mejoren las instalaciones actuales para obtener un mayor rendimiento en su funcionamiento.
- Otro de los objetivos más significativos es el de **entender cómo funciona la generación fotovoltaica** en sí. También entender cómo es su instalación y sus usos directos en el caso a estudiar. Es decir, no solo aprovecharse correcta y eficientemente de la generación de la energía solar. Si no que también aprender desde cómo es su funcionamiento, partiendo de una base teórica, hasta cómo llega esa energía obtenida directamente a los aparatos impulsados por ella. Esto se explicará más detalladamente en el Capítulo 2.
- **Realizar los respectivos cálculos y estudios económicos de las instalaciones** a crear en la finca rural. Debido a que se van a instalar placas solares que nunca antes se habían planteado, es necesario calcular: cómo, cuánto y dónde debe emplearse esta tecnología.
Mediante el programa *PVSyst* se podrá determinar lo mencionado. Se importarán los parámetros de consumo en cuestión, que serán tratados como los datos del problema, y se aportarán la cantidad de metros cuadrados de placas solares disponibles para instalar. Con ello el programa dará la solución más viable. Esto se explicará detenidamente en el apartado 1.5 de este capítulo.
- **Elaborar el estudio económico** del impacto que tendrá la instalación a lo largo de los años, con el objetivo de reducir al máximo los costes actualmente vigentes. Todo ello con el objetivo de encontrar cómo de viable y ventajosa sería la instalación de las placas solares. Reconociendo el presupuesto que se tiene para invertir en las placas y la cantidad de metros cuadrados disponibles. Con esto, se estudiará si es viable esperar para amortizar la inversión o no, y decidir en torno a ello qué instalación hacer.
Estos cálculos serán elaborados mediante el apoyo del programa *Excel* y estarán explicados en el apartado Capítulo 5. .
- Por último, se encuentra la misión de aportar en la **reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y de los residuos radioactivos**. Como actualmente las instalaciones existentes provocan un aumento del efecto invernadero, debido a la producción dada por la distribuidora eléctrica contratada, es necesario reducir en la medida de lo posible estos niveles. Siendo la apuesta por las fuentes de energía renovables una solución muy oportuna en cuanto a esto se refiere.

1.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Con el fin de realizar un trabajo que cumpla con unos requisitos éticos, sostenibles, y beneficiosos para la sociedad y el medio ambiente, se ha exigido una alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) estos: “constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.” [5]. Vienen caracterizados en la Ilustración 9.



Ilustración 9: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Fuente: UN [5]

Estudiando cada uno de ellos, y teniendo en cuenta que debe cumplirse el máximo número de objetivos posible, se puede afirmar que se va a contribuir con los siguientes:

➤ **Objetivo 7: Energía Asequible y no contaminante.**

El proyecto está totalmente alineado con este objetivo. Pues lo que se plantea es el intercambio energético del consumo de la red (con la generación aportada por ésta)

y del consumo de combustibles fósiles a la utilización de energía renovable, siendo la fotovoltaica la escogida. La instalación y el resultado se dará de la manera más sostenible posible. Tratándose, por lo tanto, de una energía totalmente accesible y no contaminante.

➤ **Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura.**

Se implementarán tecnologías innovadoras, como lo son las placas solares, y aquellas cosas a añadir durante el proceso de estudio del trabajo. No solo será innovador por la propia tecnología, sino también su estudio, pues previamente no se había realizado ninguno en la propiedad rural en cuestión. Esto supondrá el comienzo de muchos posibles trabajos en la misma. Se creará nueva infraestructura, fundamental para la continuidad de la innovación y relación con esta industria.

➤ **Objetivo 12: Producción y consumo responsables.**

Al instalar placas solares para cubrir las necesidades energéticas de la casa residencial, se fomenta un modelo de producción y consumo responsable. Ciertamente, al querer depender menos de la producción de la energía por fuentes no sostenibles, se impulsará todavía más el hecho de producir y consumir de una manera más responsable y con recursos más limitados.

➤ **Objetivo 13: Acción por el clima.**

La energía solar ayuda en la lucha en contra del cambio climático. Pues permite reducir las emisiones de CO₂ y de otros gases responsables del preocupante, y actualmente en alza, efecto invernadero. También la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y emisión de residuos radioactivos. Cosa contra la que previamente no se combatía. Pues se empleaban fuentes de energía dañinas para el medio ambiente. Erradicadas, ahora, por la puesta en escena de esta fuente renovable.

1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El proyecto va a ser dividido en dos partes, en cuanto a las elaboraciones propias a establecer y representar aquí. La primera constará en el estudio de la instalación de las placas solares mediante el uso del programa *PVSystem*. La segunda será el estudio económico de las decisiones tomadas en la primera parte, se empleará el programa *Excel* para hacer previsiones a futuro y estudiar variables económicas. Se detalla más detenidamente:

Para empezar, habrá que especificar todos los parámetros del punto de consumo en el programa *PVSystem*. La estructura de elaboración del estudio seguirá los pasos siguientes:

- 1) Ubicar exactamente el punto de consumo para obtener los datos meteorológicos, geográficos y solares (azimut p. e.) de la zona.
- 2) Definir la orientación e inclinación hacia la fuente de energía (sol) de cada sistema.
- 3) Establecer el sistema de paneles fotovoltaicos de cada situación. Eligiendo la cantidad de módulos fotovoltaicos (área disponible) e inversores (potencia requerida).
- 4) Comprobar que los parámetros escogidos se encuentren dentro de los intervalos permitidos por cada situación.
- 5) Simulación del sistema para evaluar su correspondiente rendimiento.
- 6) Evaluación de los resultados obtenidos.

Una vez que se ha escogido qué y cuántos componentes se van a instalar, se procederá a realizar los cálculos económicos, la herramienta para todos ellos será el programa *Excel* y se efectuará siguiendo estos pasos:

- 1) Cálculo de los gastos totales de la instalación. Serán los gastos fijos compuestos por: la inversión inicial de los módulos e inversores, gastos de envío, mano de obra, mantenimiento, etc.
- 2) Estudiar el balance anual entre el ahorro y la inversión inicial para ver la rentabilidad de la instalación. Así como el cálculo de demás términos financieros.

- 3) Resolver de forma iterativa cambiando, si hiciese falta, las dimensiones o cantidades de las placas fotovoltaicas a instalar para llegar a un punto todavía mejor del obtenido previamente, económicamente hablando.

Por último, queda comentar la utilización de los programas *Google Earth* y *Sigpac*. Tendrán un papel importante a la hora de ubicar y dimensionar todos los puntos de la instalación. Que, al estar estos puntos expuestos al uso público, es posible observarlos vía satélite, resultando muy conveniente el empleo de estas imágenes.

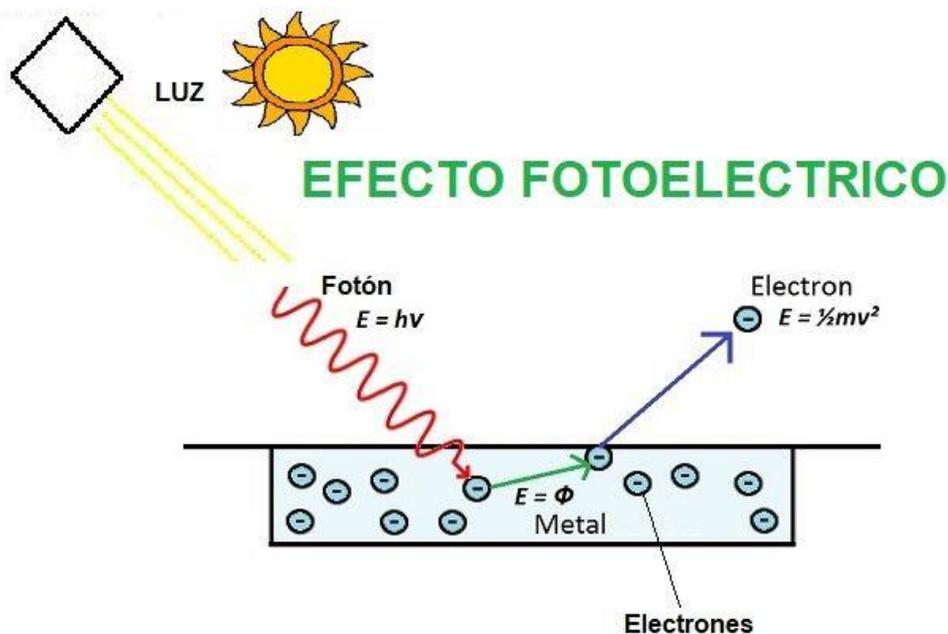
Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Durante este capítulo se abordará el uso y explicación de la tecnología fotovoltaica. Explicando qué implica usar este tipo de tecnología frente a otras, aportando ideas clave para entender cómo funciona el fenómeno fotovoltaico, así como la explicación de los diferentes sistemas de instalación que se van a usar a lo largo del proyecto.

2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO

El efecto fotovoltaico funciona principalmente por el hecho de cómo y cuánto son excitados los átomos de un material en el que los fotones del sol están incidiendo. De manera que los electrones de los átomos del material se energizan gracias a la radiación incidente de los fotones y “saltan” del material en el que se encontraban hacia el medio. [6]



Efecto Fotoeléctrico = Emisión de los electrones de un metal cuando incide sobre el metal una luz

Ilustración 10: Explicación del efecto fotovoltaico. Fuente: AreaTecnología [7]

En la Ilustración 10 se refleja cómo ocurre que, cuando el fotón consigue aportar la suficiente energía a los átomos del material, los electrones logran escapar del material. Pues la energía entregada por el fotón es mayor a la fuerza de los enlaces atómicos que los unen entre sí.

Este fenómeno es aprovechado por las placas solares. Aprovechan ese salto de electrones para obtener una diferencia de potencial que, al cortocircuitar la unión, se podrá convertir en una fuente de corriente eléctrica. La unión que se utiliza en las placas fotovoltaicas es la denominada Unión PN. [8] Se puede entender de una manera más visual mediante la Ilustración 11.

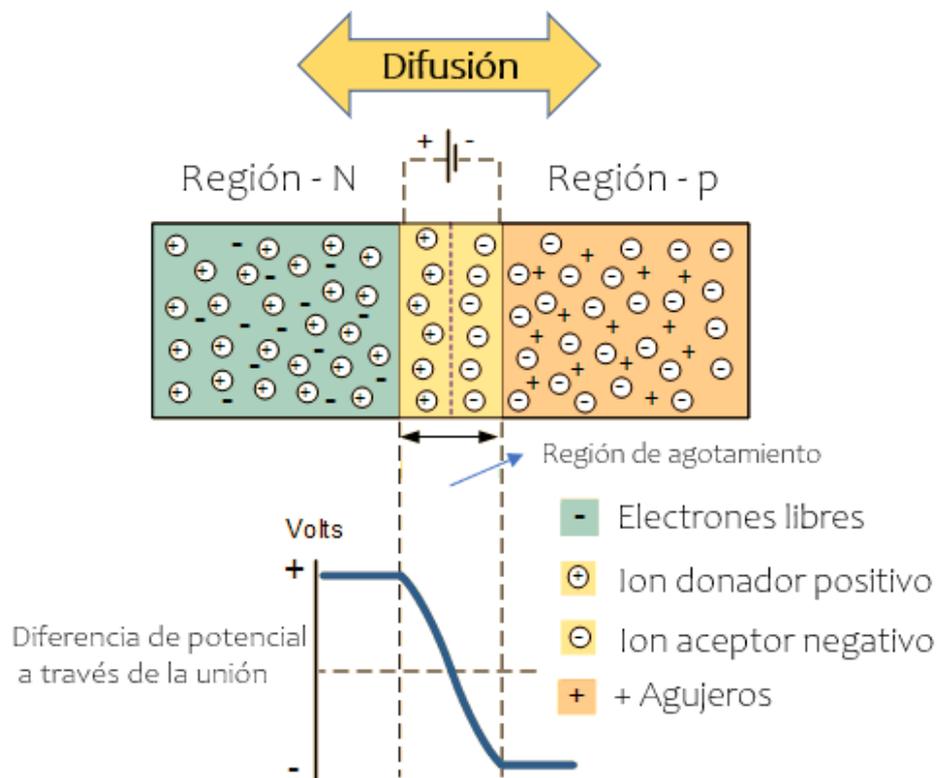


Ilustración 11: Representación de la Unión PN y su diferencia potencial. Fuente: Quora [8]

La razón por la que este salto de potencial ocurre es debido a la química de los diferentes materiales de cada región de la unión (debido a la diferencia entre las composiciones de la región P y la N). Típicamente, como se observa en la Ilustración 12, el material está formado por Sílice (Óxido de Silicio prácticamente puro). Pero la zona N está dopada por

pequeñas cantidades de Boro, mientras que la zona P, por cantidades de Fósforo. De manera que se crea una inestabilidad química.

Como el Silicio tiene una valencia de 4, creará enlaces covalentes con otros 4 átomos. Pero al haber también Fósforo en la zona P, con valencia de 5, habrá un electrón libre. De manera completamente opuesta ocurre en la zona N. Donde el Boro incluido posee una valencia de 3, dejando un hueco para electrones que puedan suplir el espacio covalente restante de los Silicios libres.

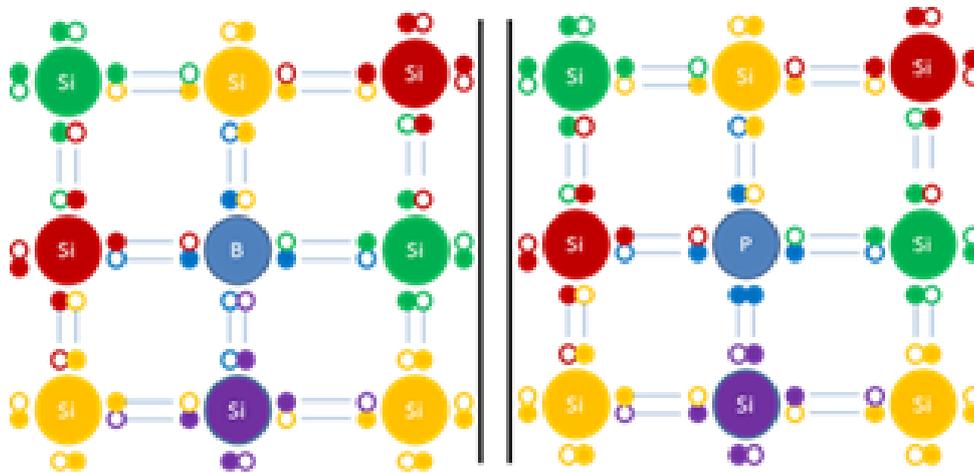


Ilustración 12: Representación molecular de la Unión PN. Fuente: Monografías [9]

Esto produce un transporte de electrones desde la zona P hasta la N, dejando iones positivos en la zona P (han perdido electrones) e iones negativos en la zona N (pues ganan electrones). Se da, por lo tanto, una región de agotamiento entre ambas zonas (representada en la anterior Ilustración 11, de color amarillo), donde se consigue la estabilidad covalente y la diferencia potencial de la unión, descargándose los electrones mediante una pequeña corriente eléctrica. [9]

En la región de agotamiento los electrones se almacenan, dejando atrás los iones cargados positiva y negativamente respectivos a sus zonas. Cuando la luz solar incide en ellos (efecto fotovoltaico explicado al principio), los electrones se energizan lo suficiente como para volver a los átomos de Fósforo. Pero solo pueden circular en una dirección, no pueden volver al Boro y formar esos enlaces covalentes anteriormente obtenidos. Pues por la región de enriquecimiento no podrán pasar al estar incidiendo ahí la radiación solar.

2.1.2 APROVECHAMIENTO DEL EFECTO FOTOVOLTAICO

Para poder hacer circular a los electrones, impulsados por la energización de la región de agotamiento, se cortocircuita el diodo (Unión PN) juntando los extremos de cada zona de la unión. Esto es representado en la Ilustración 13.

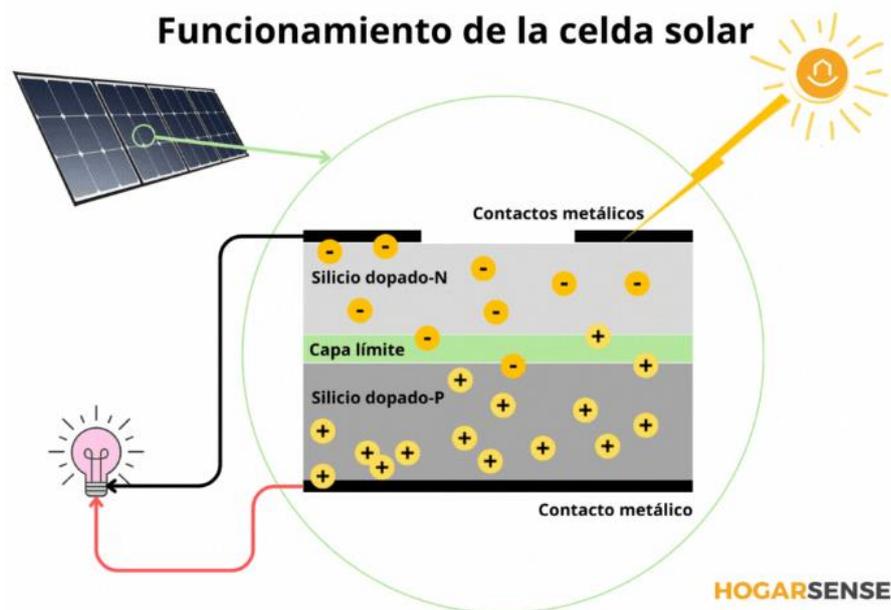


Ilustración 13: Funcionamiento de una placa solar conectada a una carga. Fuente: Aso.Argentina [10]

Permitiendo entonces la circulación de los electrones a través del cable que cortocircuita. Pues, ahora, podrán circular los electrones hasta el lugar donde se obtenga el equilibrio químico (energético), ya que solo pueden circular en un sentido.

Para aprovechar todo este fenómeno, se sitúa una carga en el circuito. Dicha carga queda representada en la misma Ilustración 13 con el icono de una lámpara. La corriente eléctrica inducida por la diferencia de potencial de la placa será lo que alimente dicha carga. Esta corriente aumentará según cuanta incidencia solar exista en la región de agotamiento. [10]

2.1.3 ORIENTACIÓN DE LAS PLACAS SOLARES

Los módulos fotovoltaicos (componente del sistema que se explicará en el apartado 2.3) de esta instalación deberán estar orientados hacia el sur. Esto se debe a la ubicación y latitud de la propiedad a optimizar. Debido a que España se encuentra ubicada en el hemisferio

norte, la orientación que permite que los paneles tengan una incidencia perpendicular mayor es cuando éstos se colocan orientados hacia el sur. [11]

La razón es porque desde este hemisferio, el norte, el sol realiza su trayectoria (con respecto al observador terrestre) en la mitad sur del cielo durante todo el año. Entonces, con esta colocación, aseguraremos que los paneles solares reciban luz solar más directamente a lo largo de todo el año. Para una mayor comprensión se ha incluido la Ilustración 14, en ella, se observa cómo el sol recorre desde el este hasta el oeste una trayectoria más cercana al sur que al norte, especialmente en la estación de invierno, pero incluyendo la de verano también.

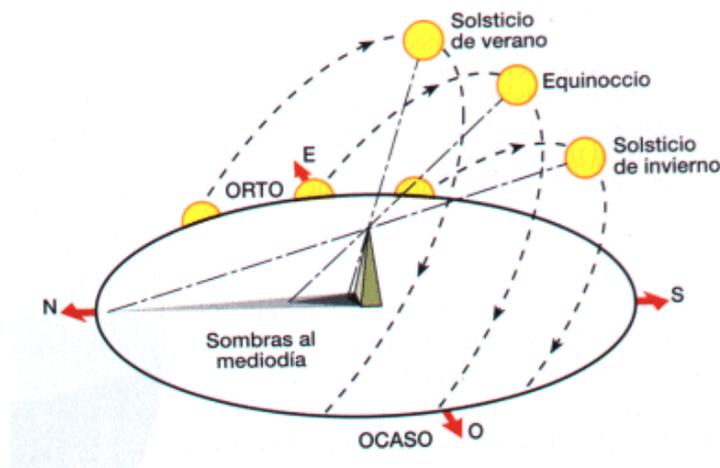


Ilustración 14: Movimiento del sol en el hemisferio norte. Fuente: escholarium [12]

Lo más eficiente sería instalar un sistema de seguidores que persiguieran al sol durante todo el día y variase durante las distintas estaciones del año, sin embargo, esta opción no es viable para una vivienda. Pues la diferencia en la mejora de la eficiencia sería muy escasa en comparación al gravísimo sobrecoste que habría. Es por eso por lo que en la instalación a realizar se mantendrán los módulos fotovoltaicos fijos y orientados al sur, para conseguir un rendimiento óptimo al enlazar el tema económico junto al energético.

2.2 VENTAJAS E INCONVENIENTES

La energía fotovoltaica es una de las fuentes de energía con mayor crecimiento actualmente, considerándose la fuente del futuro. Esto es, porque es una de las formas más limpias, sostenibles y accesibles de generación de electricidad. Su rápido avance y éxito está haciendo que cada vez se pueda abaratar más la inversión inicial a la vez que se obtienen valores altos de rendimiento gracias a los avances innovadores. [13]

Presentando las siguientes ventajas frente a otras fuentes energéticas:

- **Sostenibilidad y renovabilidad:** la fuente de energía (la estrella solar) es considerada inagotable y su uso no perjudica al medio ambiente pues no hay emisiones ni efectos perjudiciales propios al origen de esta fuente.
- **Bajo Mantenimiento:** una vez que se ha instalado todo el sistema, se requiere de muy poco mantenimiento, pues los componentes son duraderos y resistentes. El mantenimiento por realizar será el de limpiar cada cierto tiempo los paneles, pues la suciedad acumulada reduce el rendimiento.
- **Reducción de los costes energéticos:** esta es la principal razón por la que se emplea esta tecnología. Porque, a largo plazo, al tratarse de un recurso *gratuito*, se pueden reducir los costes energéticos al completo.

Sin embargo, existen también algunos inconvenientes como:

- **Dependencia solar:** al tratarse de una energía renovable está sujeta a las variables meteorológicas. Evidentemente, la energía solar únicamente funciona (a rendimientos suficientemente altos) cuando todas las condiciones solares son muy buenas.
- **Alto costo inicial:** la inversión inicial en los módulos fotovoltaicos y todos sus componentes puede llegar a ser demasiado alta. Si no se cuenta con un plazo suficientemente largo como para poder amortizarla, esta tecnología no es viable.

2.3 COMPONENTES Y SISTEMAS DE INSTALACIÓN

Con propósito de indagar en la posible y total instalación de la tecnología solar, se ha optado por explicar y entender cada uno de los componentes y procedimientos que hacen falta para que esto se pueda llevar a cabo. Los sistemas de placas fotovoltaicas poseen varios componentes que conformarán toda la instalación. Dependiendo de la finalidad de la instalación, serán necesarios o no. Son los siguientes: [14]

- **Módulos fotovoltaicos:** son los propios paneles solares, son las células fotovoltaicas que producen la electricidad a partir de la luz solar. Es donde ocurre el efecto fotovoltaico explicado antes en el apartado 2.1.1. Pueden ser mono o policristalinos, dependiendo de la necesidad del proyecto. Se observan en la Ilustración 15.



Ilustración 15: Módulos fotovoltaicos. Fuente: INNOVA [15]

- **Inversor:** dispositivo capaz de variar la corriente. Como la generada por los módulos es corriente continua y la red de las instalaciones emplea corriente alterna, se necesita invertirla. Como ejemplo está la Ilustración 16.



Ilustración 16: Ejemplo de un inversor de corriente. Fuente: AliExpress [16]

- **Baterías:** son opcionales, pues no tienen por qué hacer falta en la instalación, se suelen utilizar cuando ésta está totalmente aislada de la red, sin acceso a ella o cuando no va a haber luz solar durante futuros periodos. Lo cual no es el caso de este proyecto. Se observa en la Ilustración 17.



Ilustración 17: Batería para almacenar la energía solar. Fuente: Solinc [17]

- **Reguladores de Carga:** en el caso de necesitar baterías se utilizarán los reguladores. Son dispositivos que controlan el flujo de energía entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, asegurando que las baterías no se sobrecarguen ni se descarguen en exceso. Mostrado en la Ilustración 18.



Ilustración 18: Ejemplo de un regulador de carga. Fuente: Grupo F&S [18]

- **Estructuras de montaje:** soportes que fijan los módulos en las diferentes superficies de instalación. Dependiendo del tipo de módulo a instalar, si tiene ajuste de inclinación estacional o si varía de dirección, etc. En la Ilustración 19 se ha mostrado un ejemplo de posibles elementos.



Ilustración 19: Posibles estructuras de montaje. Fuente: ADN Solar [19]

- **Sistemas de monitorización:** aquellas herramientas encargadas de la supervisión y control de la producción y consumo de la energía. Servirán, tanto al usuario como al operador, para seguir un registro de los niveles de generación y estado de las placas solares.

Todos estos elementos son dependientes entre sí los unos de los otros. De manera que conforman un sistema totalmente automatizado de generación energética. Siendo, salvo a veces las baterías con sus reguladores, todos los elementos vitales para cualquier instalación. Para entender su correcto conexionado y labor fundamental se ha empleado el uso de la Ilustración 20. [20]

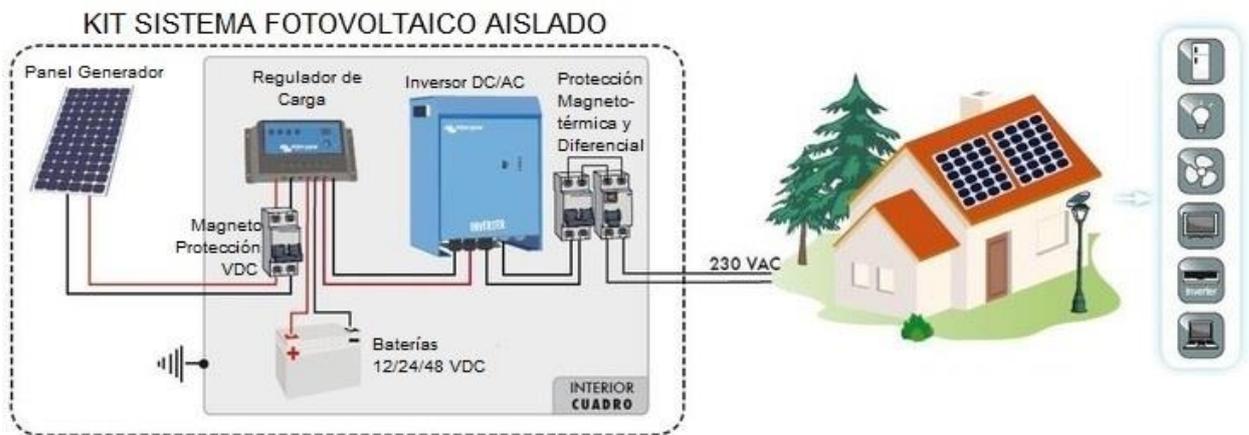


Ilustración 20: Croquis del conexionado de los componentes de una instalación fotovoltaica. Fuente: Solarix [20]

Las instalaciones pueden darse en diferentes superficies dependiendo de lo que se tenga disponible o se requiera en cada instalación. Así como diferentes variaciones según la tecnología solar a emplear. Como ya se verá más adelante, esta instalación será colocada a ras del suelo en una parcela adyacente al punto de consumo y con el plano inclinado fijo.

Capítulo 3. DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE CONSUMO

Este apartado tratará de describir todos los asuntos importantes acerca del mayor punto de consumo de toda la propiedad, que se trata de la misma casa residencial. Se trata de un edificio habitable de uso doméstico, durante todo el año, con un consumo constante anual y relativamente alto. Debido a que nunca se ha intentado optimizar su eficiencia, ni reducir su consumo energético, se puede afirmar que se encuentra en un estado virgen en cuanto a un necesario desarrollo tecnológico se refiere, es por esto por lo que se va a elaborar un estudio para la mejora de su rendimiento energético.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SUPERFICIE DE INSTALACIÓN

El edificio se encuentra en el interior de una propiedad rural, que está ubicada en la zona de los Yébenes, en la provincia de Ciudad Real, España. Posee un tejado que prácticamente cubre toda la planta del edificio, así como una amplia parcela adyacente a la casa. Ambos espacios podrían ser alternativas posibles para la instalación de las placas solares. En la Ilustración 21 se observa una foto tomada vía satélite, obtenida con el programa *Google Earth*, la imagen está totalmente orientada al norte lo que da una perspectiva total de la orientación de la planta del edificio.

Sin embargo, debido a dos motivos evidentes, cabe recalcar la desventaja que supondría usar el tejado como superficie de instalación. La primera razón es por todo lo mencionado en el apartado 2.1.3, donde cualquier orientación de las placas solares que no sea hacia el sur (debido a la latitud en la que se encuentra este proyecto, hemisferio norte) resulta ineficiente. La segunda, es porque tal y como se puede observar en la Ilustración 22, el tejado de la instalación posee demasiados planos inclinados, formando complicadas formas piramidales, cuya utilización encarecería muchísimo la instalación de las placas.

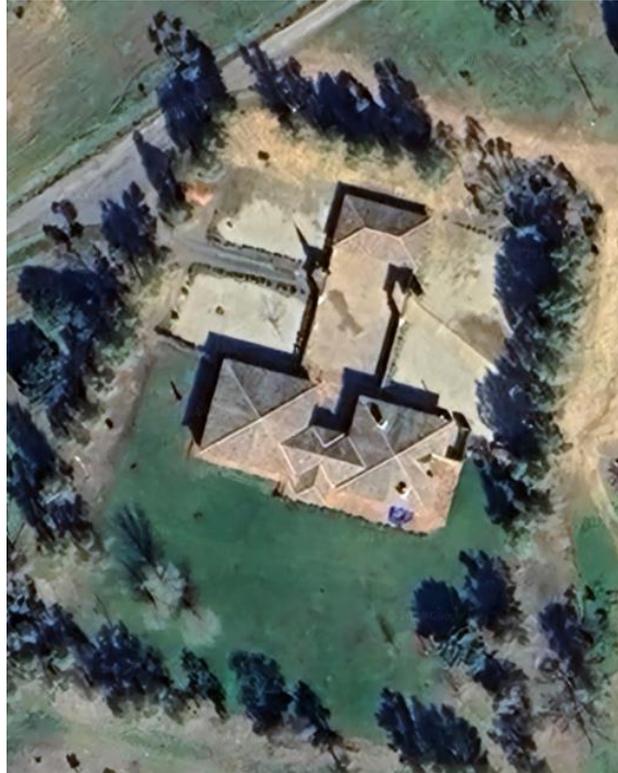


Ilustración 21: Imagen de la casa residencial vista desde arriba. Fuente: Google Earth

Teniendo esto en cuenta y observando la amplia extensión de la parcela adyacente al edificio, la cual se observa debajo de éste, en la misma Ilustración 21, se decide usar aquella extensión como lugar de instalación para todos los módulos fotovoltaicos que suplirán el consumo del edificio.



Ilustración 22: Vista en detalle desde arriba del tejado y sus numerosos planos inclinados. Fuente: Google Earth

Para calcular el área total de la parcela (evitando cuerpos como asentamientos o árboles de la propiedad) se ha utilizado el programa *Sigpac*, el cuál asegura una extensión aproximada

de 1600 m² disponibles para la instalación. Tal y como se puede observar en la esquina superior izquierda de la Ilustración 23 (visto desde arriba con la imagen orientada al norte), una vez que se ha cerrado el recinto en el programa. Cabe destacar la escasez de sombra sobre la parcela, lo que incrementará la eficiencia de la extensión hacia la generación de energía solar.



Ilustración 23: Extensión superficial de la parcela de la instalación. Fuente: Sigpac

3.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Para justificar el uso de esta fuente de energía renovable se deben entender todas las condiciones climatológicas del entorno en el que se ubica la finca. No solo aquellas que afecten a la generación de energía solar (niveles de radiación solar de la zona y horas de luz), sino que también aquellas que afecten directamente al consumo (como lo es la temperatura, por ejemplo). [21]

La temperatura en la zona de los Yébenes resulta ser muy cambiante a lo largo de los meses. Teniendo como referencia el año anterior, 2023, y entendiendo la Ilustración 24, se puede observar cómo la temperatura alcanza máximas, en la estación de verano, de alrededor de los 37 °C y mínimas, en invierno, de los -5 °C. Esto tiene una relación directa con el consumo de calefacción y aire acondicionado relativamente altas durante todo el año, lo cual deberá estar muy presente a la hora de evaluar los consumos de la casa residencial.

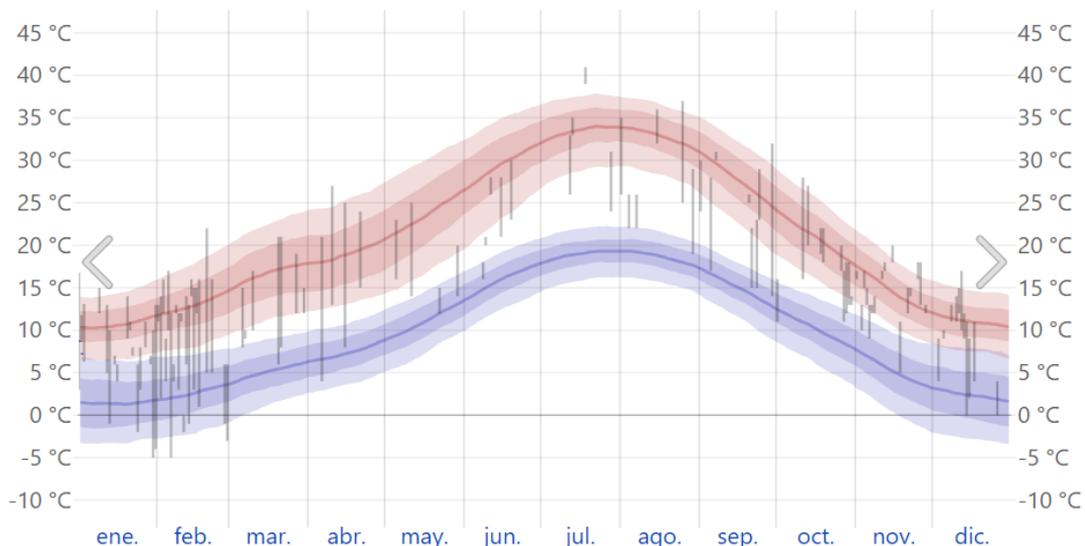


Ilustración 24: Temperaturas mensuales del año 2023 en la zona de los Yébenes. Fuente: WeatherSpark [21]

Entrando más en profundidad en lo mencionado en el apartado 1.1, acerca de la irradiancia solar, que resulta ser un valor suficientemente alto para la generación de energía, pues es aproximadamente de 5 kW·h/m². Se decide estudiar también la cantidad de horas de luz

que hay durante el día en esta zona, considerando la latitud a la que se encuentra la instalación. Son observadas en la Ilustración 25. Debido a que de máximo se tiene un efectivo total de casi 15 horas y, de mínimo de 9 horas, junto al alto nivel de irradiancia global media, se confirma que la energía fotovoltaica es una gran opción que implementar en la propiedad.

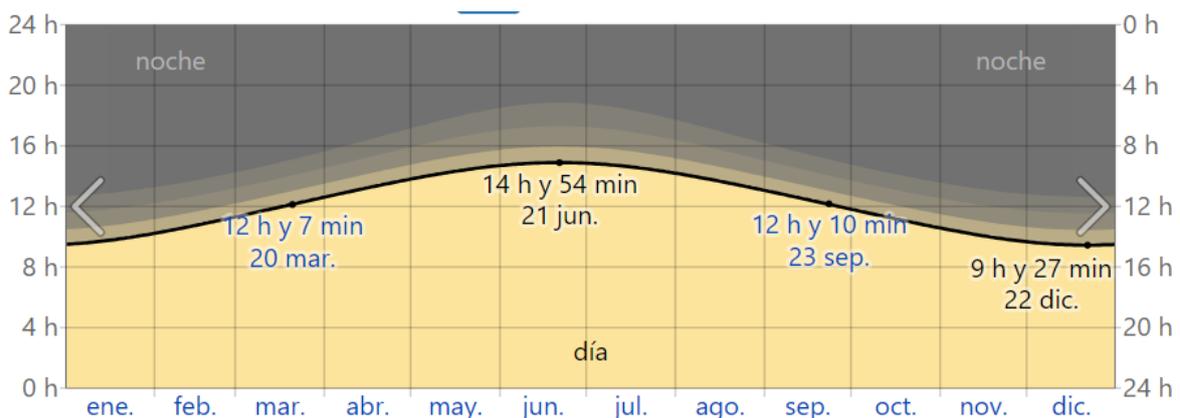


Ilustración 25: Cantidad de horas de luz del año 2023 en la zona de los Yébenes. Fuente: WeatherSpark [21]

3.3 DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO

Para conocer todos los parámetros necesarios a incluir en el programa *PVSyst* que permitan calcular perfectamente la generación necesaria (o al menos máxima para poder descontar de la factura de la red), es de vital importancia conocer los valores de consumo total de la casa residencial. Una vez se obtengan, se podrán calcular términos como: cuánta potencia nominal es consumida, cantidad de módulos a instalar en la parcela, área utilizada, etc.

Con afán de llegar a estos valores, se ha pedido al propietario que entregase la factura de la compañía eléctrica contratada. Los datos obtenidos han sido los del consumo del pasado mes de enero de 2024. Tal y como se puede observar en la Ilustración 26, junto a la Ecuación 1, se llega al valor del consumo energético del mes de enero, que es de 2006 kWh.

Resulta ser un dato de especial interés al tratarse de la representación de uno de los meses con valores mínimos en cuanto al consumo mensual total (al desprenderse del gasto del aire acondicionado por la ausencia de clima caluroso, se explica este fenómeno).

► **Detalle Consumo**

Periodo Tarifario	CONSUMO DE ENERGÍA ACTIVA (kWh)		
	INICIAL 01/01/2024 (TL)	FINAL 31/01/2024 (TL)	CONSUMO Final-Inicial
P1	13.638	14.191	553
P2	17.517	17.877	360
P3	17.433	17.433	0
P4	12.575	12.575	0
P5	5.900	5.900	0
P6	55.169	56.262	1.093

Ilustración 26: Consumo de la potencia activa por hora del mes de enero de 2024. Fuente: Nexus energía

$$E_{total_{enero}} = E_1 + E_2 + E_6 = 553 + 360 + 1093 = 2006 \text{ kWh}$$

Ecuación 1: Cálculo de la potencia activa por hora total consumida en enero de 2024. Fuente: Elaboración propia

No obstante, dentro de la factura eléctrica, uno de los apartados más reseñables es el del histórico del consumo. Esto es porque no solo aporta información suficiente sobre el recorrido del consumo de la instalación, sino que también sirve como referencia válida para establecer un consumo medio de todos los meses siguientes a la vida del proyecto. De manera que, se utilizará este dato para elaborar todos los cálculos pertinentes, y que, si resultase cambiar, únicamente habría que actualizar este valor. Esto se encuentra representado en la Ilustración 27.

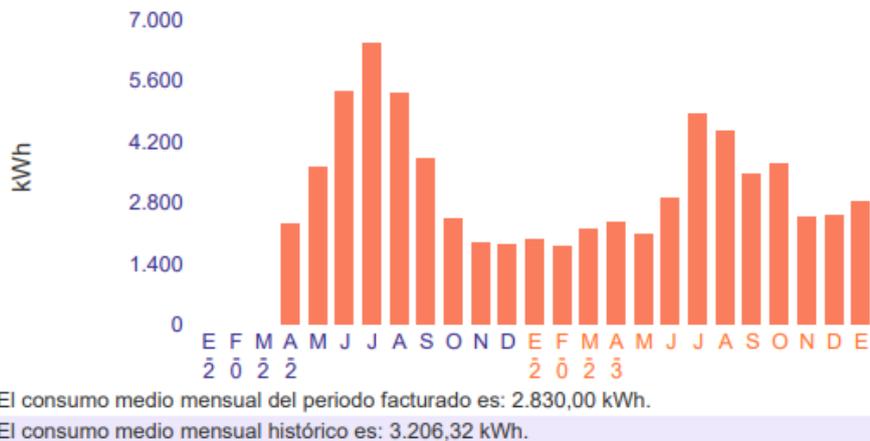


Ilustración 27: Histórico del consumo mensual medio en kWh. Fuente: Nexus energía

Observando la imagen, se llega a la conclusión de que en verano existe el mayor consumo energético de la instalación, rozando los 7000 kWh, pero siendo invierno una época con consumos mucho menores, en torno a los 2000 kWh. Se llega al resultado de un consumo medio mensual de 3206,32 kWh.

Este valor es el que se establecerá como consumo global por mes para la instalación. Es decir, se considerará para todos los cálculos y previsiones futuras este valor de consumo. Por lo que el consumo anual se considerará como el calculado en la Ecuación 2.

$$E_{anual} = 12 \cdot E_{mensual} = 12 \cdot 3206,32 \text{ kWh} = 38,476 \text{ MWh}$$

Ecuación 2: Cálculo de la potencia anual total. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la facturación, la compañía eléctrica establece el importe total de 113,93€ para el mes de enero representado en la factura. Aunque esto se explicará, se detallará a favor del proyecto y se indagará más en detalle en el Capítulo 5. , se puede observar este dato en la Ilustración 28.

Factura Resumen	
Por término fijo	0,00 €
Por término variable	91,86 €
Impuesto de electricidad	2,30 €
Alquiler de equipo de medida	0,00 €
Otros conceptos	0,00 €
Impuesto aplicado	19,77 €
TOTAL IMPORTE FACTURA	113,93 €

Ilustración 28: Importe total de la factura eléctrica del mes de enero de 2024. Fuente: Nexus energía

3.4 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Como se introdujo previamente en el Capítulo 1. , uno de los principales objetivos de este proyecto es el de reducir el impacto medioambiental de la propiedad rural. Analizando extensamente la propia factura de la compañía eléctrica se puede observar cómo la instalación resulta tener efectos negativos en el planeta en cuanto a contaminación se refiere.

Debido a que toda la energía obtenida es a través de la red, sin ninguna mejora en su eficiencia, y de una manera contaminante, es de vital importancia que se aplique todo lo estudiado en este proyecto. Para así poder erradicar el impacto negativo que esta producción tiene en el medio ambiente y así poder acercarse a un planeta más verde.

Según la Ilustración 29, se puede observar cómo la producción de la electricidad contratada no es limpia. Es preocupante observar cómo los mayores porcentajes de generación son de ciclo combinado gas natural y nuclear, siendo de 43,9% y 35,4%, respectivamente. Es por esto por lo que la implementación de generación fotovoltaica propia mejorará considerablemente este tema, que debe ser resuelto cuanto antes.

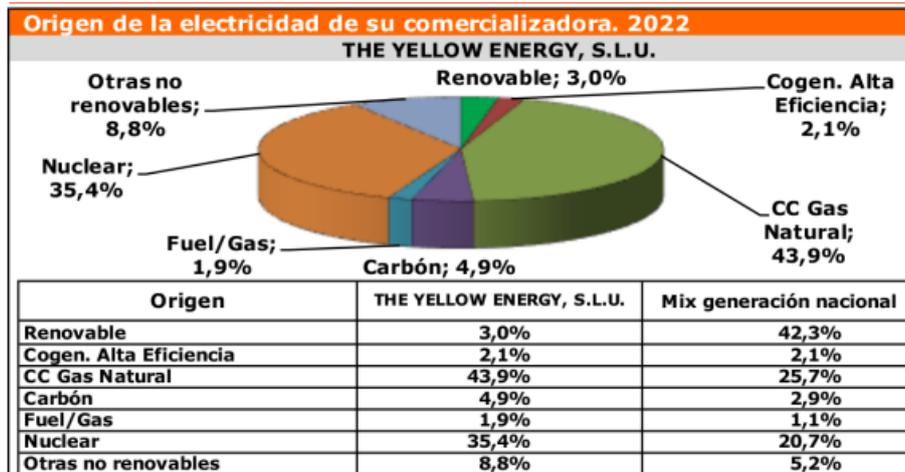


Ilustración 29: Origen de la producción de la electricidad de la comercializadora. Fuente: Nexus energía

Es importante discutir también el impacto medioambiental que tiene toda la generación que llega a la propiedad rural. Según la Ilustración 30, donde se ha clasificado el nivel de emisiones de CO₂ y de residuos radioactivos considerando simultáneamente aspectos de eficiencia energética. La generación particular de esta propiedad se encuentra clasificada en la letra G, que resulta ser la peor.

En España, se tiene una media situada en la letra D. Es decir, se considera que cualquier nivel de contaminación por encima de este punto (o, lo que es lo mismo, alfabéticamente después de la D) es altamente dañino y debe ser solventado. Siendo esto uno de los aspectos más importantes del trabajo. [22]

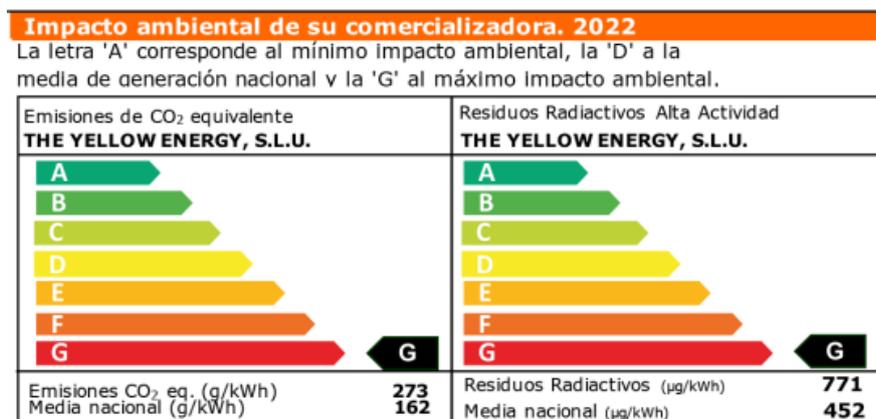


Ilustración 30: Impacto ambiental de la generación de la comercializadora. Fuente: Nexus energía

Capítulo 4. CÁLCULOS CON *PVSyst*

4.1 JUSTIFICACIÓN

La razón por la que se ha optado por usar este programa es por su gran capacidad para proporcionar simulaciones correctas y detalladas del rendimiento de cualquier sistema fotovoltaico. Debido a que permite modelar prácticamente cualquier tipo de instalación, resulta de gran ayuda para implementar la configuración de este consumo residencial. Posee una gran base de datos meteorológicos de cada sitio, incluyendo obviamente la zona de los Yébenes, así como algoritmos de simulación avanzados. Sobre todo, el programa es capaz de aportar datos del rendimiento energético del proyecto, así como su viabilidad técnica y económica.

La herramienta, entre otros muchos atributos, permite realizar un análisis del proyecto con un amplio abanico de configuraciones que podrán irse actualizando conforme se vaya llegando al óptimo energético deseado. Ofrece la posibilidad de simular diversas orientaciones, inclinaciones y disposiciones de los módulos fotovoltaicos. Adaptándose a las variables introducidas por el usuario de, por ejemplo, horizonte y sombras posibles en el entorno de la instalación. Por todos estos motivos, *PVSyst* ha sido el programa escogido para llevar a cabo esta labor. [23]

4.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

4.2.1 DATOS METEOROLÓGICOS DE LA UBICACIÓN

Lo primero que se debe hacer en *PVSyst*, para poder realizar la simulación, es situar perfectamente a la instalación. De manera que el programa sea capaz de cargar perfectamente los parámetros meteorológicos y solares, que tiene establecidos en su base de datos de *Meteonorm*.

En primer lugar, tal y como se ve en la Ilustración 31, el programa proporciona información gráfica acerca de las trayectorias solares, relacionando la altura del sol en grados en contra del azimut. Observándose dicha evolución junto a las horas, a lo largo del año, indicando zonas críticas como lo son los solsticios y equinoccios. Cabe destacar cómo, en la zona de los Yébenes, en el solsticio de verano se llega hasta casi los 75° en cuanto a la altura del sol, y, aproximadamente, apenas los 25° en el de invierno.

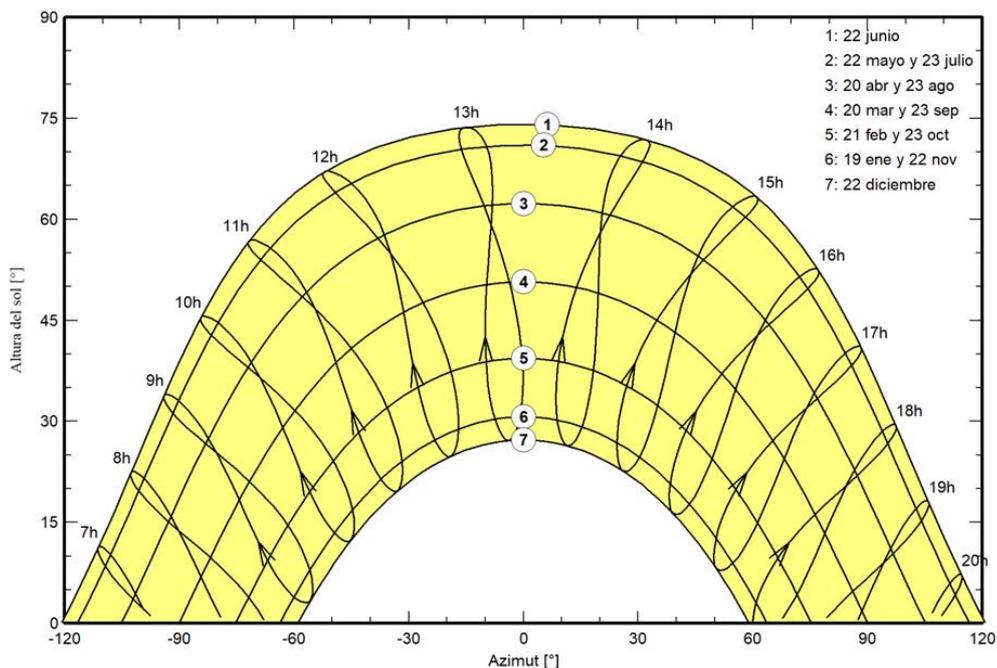


Ilustración 31: Trayectorias solares de la zona en cuestión. Fuente: PVSyst

Como se ha comentado anteriormente, *PVSyst* importa una gran variedad de datos meteorológicos de la ubicación exacta con el objetivo de proporcionar la información más certera posible a la hora de evaluar y simular los rendimientos de la instalación fotovoltaica. En la Ilustración 32 se pueden observar todos estos parámetros, aportados mensualmente.

Los datos más importantes de entre todos serían los de la irradiancia horizontal global y los de la temperatura. Observando cómo, en el primer caso, la irradiancia en verano es capaz de cuadruplicarse en cuanto al invierno. Mientras que, en el caso de la temperatura, se observan unos valores templados pero que afectan en el consumo en las diferentes

estaciones, debido a todo lo comentado en el apartado 3.2. A pesar de todo ello, se deben estudiar también valores de la humedad y su efecto en la sensación térmica y, por lo tanto, en el consumo energético. Como se observa, los valores son altos.

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /mes	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /mes	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	64.7	29.0	6.1	2.00	2.459	79.7
Febrero	88.7	32.4	7.8	2.49	2.648	70.3
Marzo	139.8	48.4	11.3	2.71	3.027	61.3
Abril	174.5	58.0	14.2	2.70	3.031	59.6
Mayo	201.6	80.8	19.3	2.40	3.161	50.0
Junio	227.5	64.0	25.0	2.50	3.186	38.9
Julio	239.6	56.8	28.8	2.39	2.968	31.0
Agosto	210.3	56.4	28.2	2.29	3.048	33.7
Septiembre	156.4	52.2	22.5	2.20	2.986	47.5
Octubre	113.1	41.4	16.9	2.10	2.873	61.3
Noviembre	74.0	29.6	9.8	2.19	2.602	75.8
Diciembre	54.2	25.0	6.6	2.09	2.492	81.6
Año	1744.5	574.0	16.4	2.3	2.873	57.6

Ilustración 32: Datos meteorológicos mensuales de la zona. Fuente: PVSyst

4.2.2 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS

Como bien se ha explicado previamente, la orientación del sistema será completamente hacia el sur (estableciendo el azimut de referencia de 0° para esa dirección). Pues bien, se trata de la mejor orientación posible en el hemisferio norte para llegar a la generación óptima. Afortunadamente, el lugar de instalación escogido tiene la característica de ser una extensión amplia la cual permite dicha orientación de los módulos.

Es decir, aunque la casa residencial y la parcela se encuentren realmente orientadas hacia el suroeste (256° grados), como se ve en la Ilustración 21, al tener más que suficiente área útil para la instalación, será perfectamente posible ubicar todos los módulos hacia la orientación deseada: al sur. Esto es porque como se observará más adelante, hay espacio más que suficiente.

Para comprender mejor el tema de la inclinación, se debe observar cómo afecta ésta a la pérdida con respecto al óptimo. La inclinación perfecta variará con respecto a la latitud a la

que se encuentre la instalación en cuestión. Utilizando el ejemplo por defecto que utiliza *PVSyst* (que son 30° de inclinación), se puede observar en la Ilustración 33, cómo la pérdida con respecto al óptimo es de -0,4%. Sin embargo, al aumentar la inclinación hasta la óptima de 35°, como en la Ilustración 34, las pérdidas con respecto al óptimo resultan ser prácticamente nulas. Además de obtener también una irradiancia global, sobre el plano colector, mayor. [24]

Todo esto ha sido efectuado utilizando como tipo de campo, el plano inclinado fijo. Esto va a ser así para toda la instalación, por motivos económicos y porque la diferencia de inversión-generación con respecto a otro tipo de campo no merece la pena.

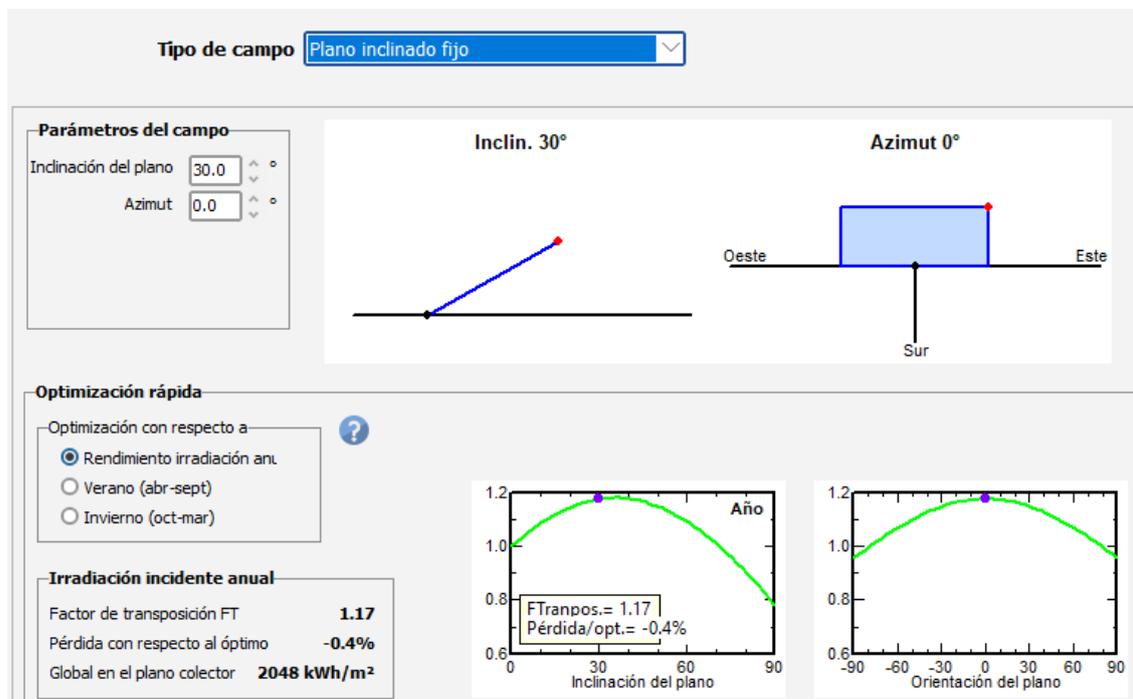


Ilustración 33: Orientación e inclinación por defecto del programa. Fuente: PVSyst

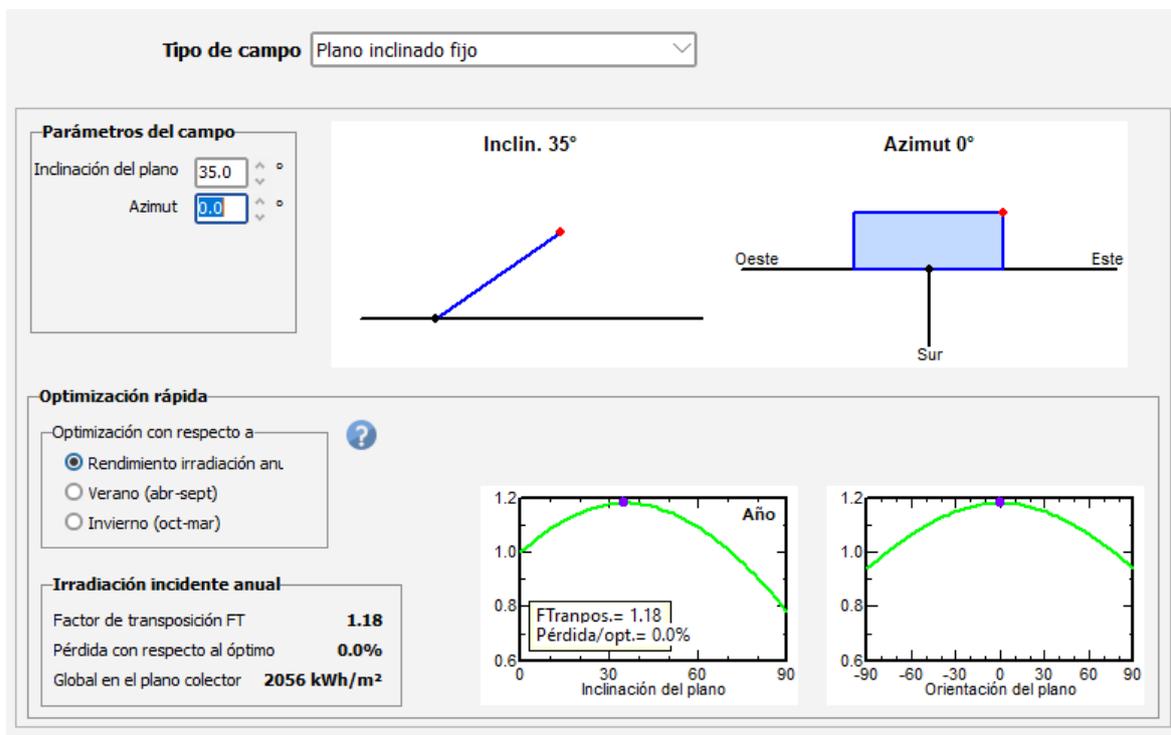


Ilustración 34: Orientación e inclinación óptimas. Fuente: PVSyst

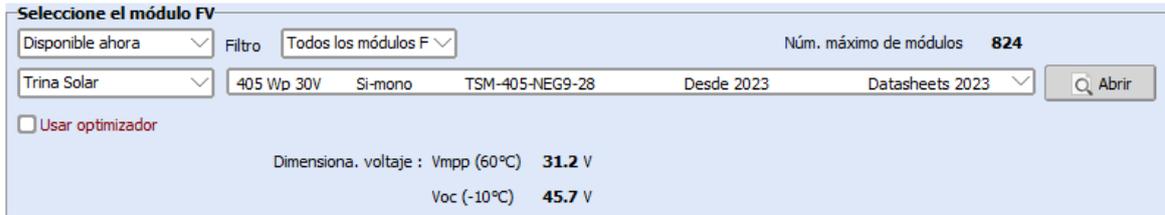
4.3 SISTEMA SOBREDIMENSIONADO. EMPLEO DEL ÁREA TOTAL

Este apartado tiene la función de introducir y explicar el uso de los diferentes componentes que se necesitan para la instalación. También para explicar cómo se deben ajustar (en cuanto al presupuesto y a las necesidades del propietario) los parámetros de la instalación para conseguir un óptimo. Pues este apartado no será el del sistema definitivo, sino que éste será calculado en el siguiente apartado, en el 4.4. Allí, se reducirá la generación total del conjunto fotovoltaico, junto al área a utilizar, hasta conseguir un valor de acorde al consumo total de la instalación.

Los siguientes puntos por establecer en el sistema informático de la instalación son el tipo de módulos e inversores, habiendo definido al conjunto como un sistema conectado a la red. Forzando, en primer lugar, la variable del área disponible para los módulos de 1600 m², todo lo demás será elegir la marca para los módulos e inversores.

Tras haber evaluado y estudiado diferentes marcas y productores de módulos fotovoltaicos, encontrando aquellas que mejor rindiesen a la vez que tuvieran un precio de acorde a la inversión, se ha decidido usar (de entre todas las ofrecidas por *PVSyst*) la marca *Trina Solar*.

Además, para estos paneles se ha escogido que tuvieran una potencia de pico de 405 W por módulo y un voltaje de 30 V. Como se ha representado en la Ilustración 35, los cuáles proporcionarán el rendimiento esperado para toda la instalación. Con este tipo de módulos, cuyas dimensiones están establecidas en el programa, junto a la cantidad de metros cuadrados disponibles, permiten instalarse un máximo de 824 módulos.



Seleccione el módulo FV

Disponibles ahora: Filtro: Todos los módulos F

Núm. máximo de módulos: 824

Trina Solar 405 Wp 30V Si-mono TSM-405-NEG9-28 Desde 2023 Datasheets 2023

Usar optimizador

Dimensiona. voltaje : Vmpp (60°C) 31.2 V
Voc (-10°C) 45.7 V

Ilustración 35: Módulos fotovoltaicos del sistema sobredimensionado. Fuente: *PVSyst*

Tras haber establecido los módulos fotovoltaicos, es preciso elegir ahora el inversor. Para realizar esta función, es fundamental tener en cuenta sus siguientes características: la potencia del propio inversor, su voltaje de funcionamiento y el número total a instalar (pudiendo tener entradas multi-MPPT). Para saber cuál va a ser la potencia nominal de la instalación, y por tanto la del inversor, hay que atender a la Ecuación 3. Ésta anuncia que, empleando unos 800 módulos (siendo éste un número provisional), la potencia nominal será de unos 324 kW.

$$P_{nominal} = n^{\circ}_{módulos} \cdot P_{módulo} = 800 \cdot 405 = 324 \text{ kW}$$

Ecuación 3: Cálculo de la potencia nominal del sistema sobredimensionado. Fuente: *Elaboración propia*

Entonces, conociendo la potencia total necesaria, habría que evaluar si se desea tener una potencia del inversor sobredimensionada o, por el contrario, disponer de un sobredimensionamiento del campo solar a utilizar.

Atendiendo a otros estudios empíricos, resulta más provechoso el hecho de tener un sobredimensionamiento solar que de potencia. Esto es porque siempre es mejor tener mayor capacidad de producción y mayor margen de error en cuanto a las simulaciones efectuadas por los módulos instalados, a parte, el rendimiento de la instalación aumenta así, mientras que la inversión global disminuye. También se explica atendiendo a la Ilustración 36. Es decir, hay más ventajas con la opción escogida. [25]

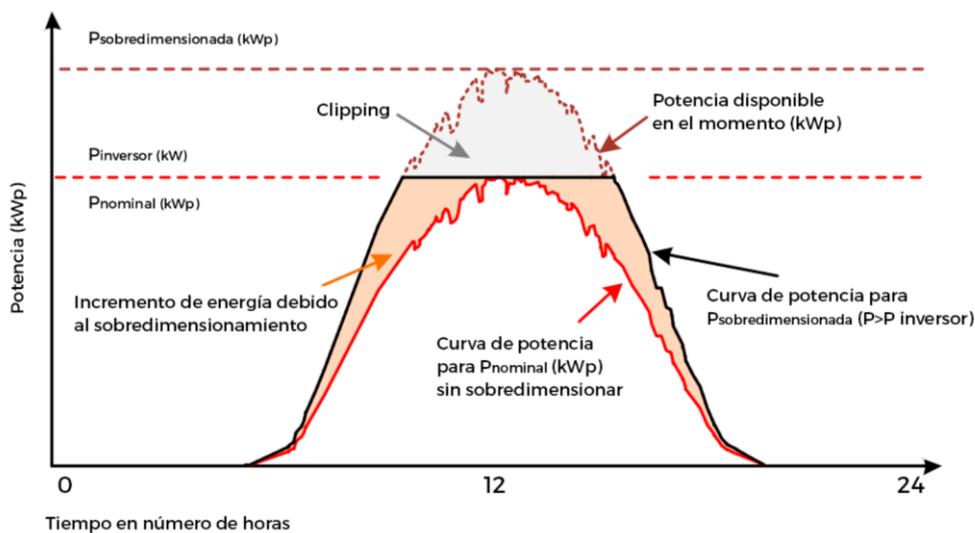


Ilustración 36: Ventaja de sobredimensionar el campo solar. Fuente: Amara NZero [26]

Conociendo lo anterior y haciendo un análisis parecido al de los módulos fotovoltaicos, se decide escoger dos inversores de la marca SMA de 150 kW, dejando una instalación con un ligero dimensionamiento potencial menor. Se observan en la Ilustración 37.

Seleccione el inversor

Voltaje de salida 600 V Tri 50Hz

150 kW 855 - 1500 V TL 50/60 Hz Sunny Highpower SHP150-21-PEAK3 Desde 2022

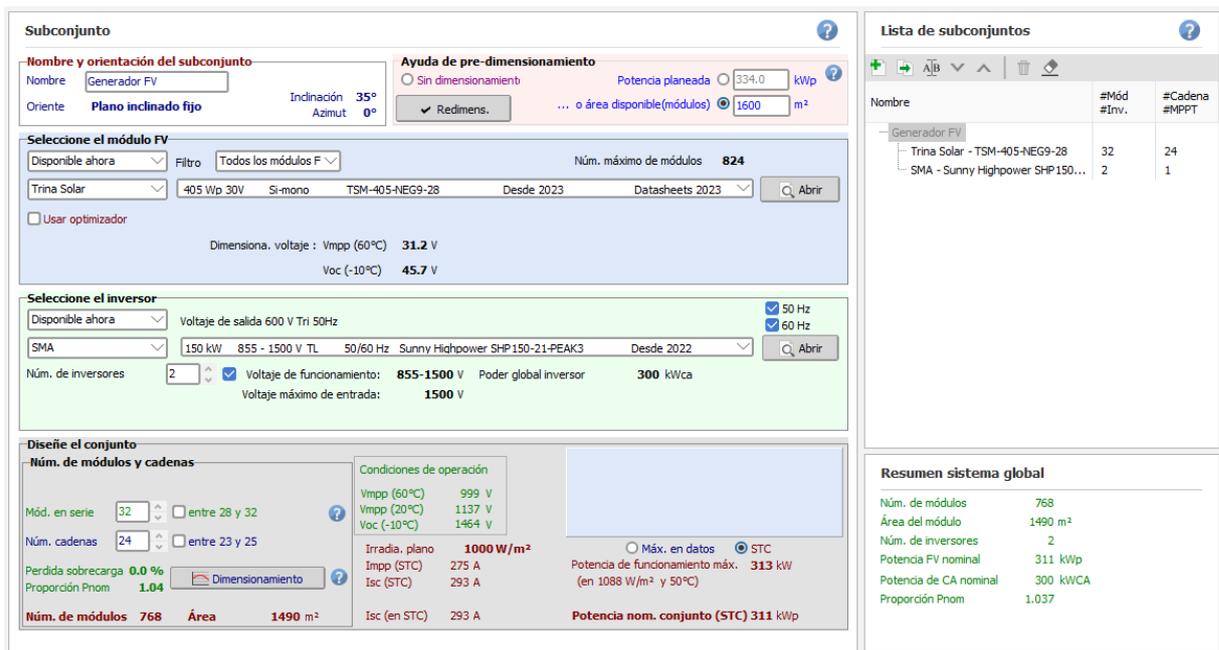
Núm. de inversores Voltaje de funcionamiento: 855-1500 V Poder global inversor 300 kWca
 Voltaje máximo de entrada: 1500 V

50 Hz
 60 Hz

Ilustración 37: Inversor del sistema sobredimensionado. Fuente: PVSystem

Debido a que este apartado es simplemente introductorio al programa y no dictará el sistema definitivo, no se ha ahondado demasiado en las características de los módulos e

inversores escogidos, pues esta parte se reserva para el siguiente apartado: 4.4, donde los componentes serán definitivos. Sin embargo, el resumen total de la instalación se ha incluido en la Ilustración 38. Donde se observa el empleo de 1490 m². Esto se ha decidido así para no utilizar toda el área total disponible, pues esto podría crear sombras entre las propias placas, aparte de que podría prevenir el caso en el que se necesitase más área de la esperada a la hora de la instalación.



The screenshot displays the PVSyst software interface for configuring a photovoltaic system. It is divided into several panels:

- Subconjunto (Sub-system):**
 - Nombre y orientación del subconjunto:** Nombre: Generador FV, Orientación: Plano inclinado fijo, Inclinación: 35°, Azimut: 0°.
 - Ayuda de pre-dimensionamiento:** Potencia planeada: 334.0 kWp, Área disponible (módulos): 1600 m².
 - Selección del módulo FV:** Trina Solar, 405 Wp 30V, Si-mono, TSM-405-NEG9-28, Desde 2023. Dimensiones: V_{mpp} (60°C) = 31.2 V, V_{oc} (-10°C) = 45.7 V.
 - Selección del inversor:** SMA, 150 kW, 855 - 1500 V TL, 50/60 Hz, Sunny Highpower SHP150-21-PEAK3, Desde 2022. Voltaje de funcionamiento: 855-1500 V, Poder global inversor: 300 kWca, Voltaje máximo de entrada: 1500 V.
 - Diseño del conjunto:** Mód. en serie: 32, Núm. cadenas: 24. Condiciones de operación: V_{mpp} (60°C) = 999 V, V_{mpp} (20°C) = 1137 V, V_{oc} (-10°C) = 1464 V. Irradia. plano: 1000 W/m². Potencia de funcionamiento máx.: 313 kW (en 1088 W/m² y 50°C). Potencia nom. conjunto (STC) 311 kWp.
- Lista de subconjuntos:**

Nombre	#Mód	#Cadena	#MPPT
Generador FV			
Trina Solar - TSM-405-NEG9-28	32	24	
SMA - Sunny Highpower SHP150...	2	1	
- Resumen sistema global:**

Núm. de módulos	768
Área del módulo	1490 m ²
Núm. de inversores	2
Potencia FV nominal	311 kWp
Potencia de CA nominal	300 kWCA
Proporción Pnom	1.037

Ilustración 38: Resumen de la instalación sobredimensionada. Fuente: PVSyst

Finalmente, una vez establecidos todos los parámetros anteriores, se puede ejecutar la simulación y evaluar los resultados. Como se observa en la Ilustración 39, este sistema es capaz de producir 542 MWh anuales de potencia, lo cual es exageradamente mayor al consumo anual establecido por la Ecuación 2 de 38,476 MWh.

Parámetros de simulación				Resultados principales			
Proyecto	Casa Residencial	Generador FV		Producción del sistema	542 MWh/año	Prod. normalizada	4.78 kWh/kWp/día
Sitio	Pueblonuevo del Bellaque	Módulos FV	TSM-405-NEG9-28	Prod. específica	1744 kWh/kWp/año	Pérdidas del conjunto	0.64 kWh/kWp/día
Tipo sistema	Conectado a la red	Potencia nominal	311 kWp	Proporción de rendimiento	0.872	Pérdidas del sistema	0.06 kWh/kWp/día
Simulación	01/01 al 31/12 (Datos meteo genéricos)	Voltaje MPP	35.0 V				
		Corriente MPP	11.6 A				
		Inversor	Sunny Highpower SHP150-21-PEAK3				
		Inv. unidad de potencia	150 kW				
		Núm. de inv.	2				

Ilustración 39: Resultados principales del sistema sobredimensionado. Fuente: PVSyst

Es por esto por lo que se ha decidido crear el siguiente y nuevo apartado en el proyecto, el 4.3, donde se decide llegar al óptimo de producción de la instalación, de manera que la generación llegue a parecerse lo máximo posible al consumo. No obstante, este apartado podrá ser de relevante importancia en el caso de que en algún momento se quiera usar toda la capacidad de la parcela para producir tanta energía que, los excedentes, pudieran ser vertidos y vendidos a la red.

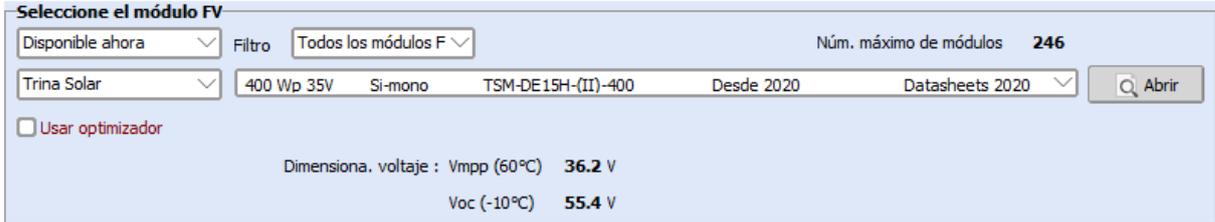
4.4 SISTEMA DEFINITIVO. POTENCIA NECESARIA

Aplicando todo lo mencionado en el apartado anterior, el 4.3, se procede a explicar cómo va a ser el sistema definitivo y óptimo, y aquel que se va a instalar. Los procedimientos a seguir van a ser exactamente los mismos, considerando las mismas ecuaciones y razonamientos, salvo que esta vez se reducirá el área y la potencia de los componentes, tanto como haga falta hasta que se llegue al punto en el que la potencia generada sea mayor a la consumida, a la vez que las pérdidas sean las mínimas posibles.

Tras varios cálculos iterativos, combinando el área a utilizar (para mantener una variable fija) con la potencia requerida tanto de módulos como de inversores. Se llega al punto óptimo al establecer que el área total disponible sea menos un tercio de la anterior: 500 m².

No obstante, este valor es totalmente provisional porque dependiendo de los valores escogidos, para los módulos e inversores, el área podría llegar a ser mucho menor y aun así cumplir con la demanda requerida. Tal cual sucederá más adelante.

Continuando con los módulos fotovoltaicos, se ha decidido usar la misma marca, pero reduciendo relativamente la potencia de pico de éstos, hasta los 400W, aunque alzando ligeramente el valor de la tensión, hasta los 35 V. Se observan en la Ilustración 40, con un monto total de unos 246 módulos como máximo a instalar.



Seleccione el módulo FV

Disponible ahora Filtro Todos los módulos F Núm. máximo de módulos 246

Trina Solar 400 Wp 35V Si-mono TSM-DE15H-(III)-400 Desde 2020 Datasheets 2020

Usar optimizador

Dimensiona. voltaje : Vmpp (60°C) 36.2 V
Voc (-10°C) 55.4 V

Ilustración 40: Módulos fotovoltaicos del sistema óptimo. Fuente: PVSystem

Es interesante mencionar el tipo de módulo escogido, en cuanto a su cristal. En la misma Ilustración 40, se observa la característica de “Si-mono”. Esto quiere decir que la superficie del módulo es de Silicio y de tipo monocristalino. Lo que significa que el cristal del panel es mejor que el policristalino, pero también más caro. La razón es porque, al ser de Silicio, cuando el material se enfría, éste empezaría a cristalizar en distintas direcciones reduciendo el rendimiento. El monocristalino es, entonces, sometido a un proceso extra para que el Silicio cristalice entero en la misma dirección. Gracias a esto, se consigue que haya más conductividad, aumentando la potencia. Hay que añadir también que estos módulos son negros, a diferencia de los policristalinos, que son azules, así es como se distinguen fácilmente. [27]

Siguiendo con la obtención del inversor que mayor rendimiento aportará a la instalación, es necesario aplicar la Ecuación 4. En ella, se expresa cómo se han cogido 72 módulos como número final de la instalación. La razón detrás de este número es el iterativo cálculo que se ha hecho hasta haber llegado al óptimo donde, como se va a observar a continuación, se utilizará exactamente esa cantidad de módulos, 72 (cualquier otro número hubiera sido provisional, pero finalmente se ha puesto el óptimo esta vez). Con esta cantidad se puede calcular así la potencia nominal.

$$P_{nominal} = n^{\circ}_{módulos} \cdot P_{módulo} = 72 \cdot 400 = 28,8 \text{ kW}$$

Ecuación 4: Cálculo de la potencia nominal del sistema óptimo. Fuente: Elaboración propia

Sabiendo esto, así como lo aprendido en la Ilustración 36 (acerca del sobredimensionamiento del campo solar), se utilizarán dos inversores de la misma marca, SMA, y de 12 kW. De manera que se sobredimensione el campo solar y no la capacidad potencial de estos componentes, pues así se tendrá 24 kW de capacidad de potencia cuando

la nominal será de 28,8 kW. Atendiendo también a las otras dos características más importantes del inversor: su voltaje de funcionamiento y el número total a instalar (pudiendo tener entradas multi-MPPT). Así como a la Ecuación 4, se tiene el siguiente tipo inversor especificado en la Ilustración 41.



Seleccione el inversor

Disponibles ahora Voltaje de salida 400 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz

SMA 12 kW 210 - 800 V TL 50/60 Hz Sunny Tripower STP 12-50 Desde 2023

Núm. de inversores: 2 Voltaje de funcionamiento: 210-800 V Poder global inversor: 24.0 kWca

Utilizar multi-MPPT Voltaje máximo de entrada: 1000 V **inversor con 3 MPPT**

Reparto de potencia en este inversor

Ilustración 41: Inversor del sistema óptimo. Fuente: PVSyst

Las características específicas de todos los componentes: módulos fotovoltaicos e inversores, se han incluido en el *Anexo II*. Donde se podrán observar todas las descripciones oportunas de éstos como: especificaciones del fabricante, dimensiones del tipo de módulo escogido, la relación entre corriente y voltaje de los módulos, relación entre incidencia y potencia máxima, los valores típicos del inversor, su relación entre la potencia y la eficiencia, así como entre corriente y voltaje, su dimensionamiento de potencia, etc. Todas estas características han sido obtenidas a través de la información otorgada por los propios fabricantes.

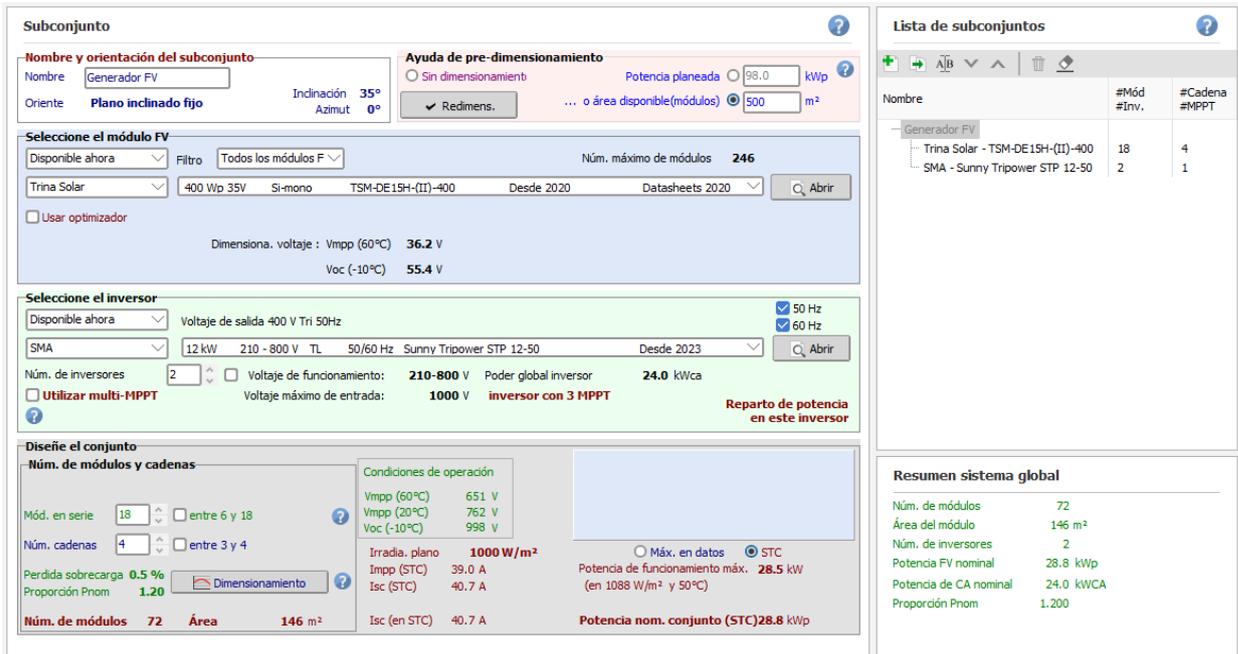
Con motivo de recalcar todos los parámetros introducidos como variables en la simulación, se ha incluido la Ilustración 42, a modo de resumen del sistema por instalar. Se puede observar cómo sí que se van a necesitar un total de 72 módulos, tal y como se especificó en la anterior Ecuación 4. Éstos serán dispuestos de la siguiente forma: habrá 18 módulos en serie y 4 cadenas de éstos. De tal manera que, finalmente, debido a las dimensiones de cada módulo, únicamente será necesario el uso de 146 m². Como se previó al comenzar este apartado.

Para comprobar que el inversor escogido es correcto, se debe calcular el voltaje total que éste soportará, asegurando que esté dentro de sus valores admisibles. Para esto, hay que observar la Ecuación 5, donde se obtiene el voltaje teórico del inversor por cada cadena de módulos instalados (en las que hay 18 módulos en serie). El voltaje debe quedar dentro de

los valores admisibles. Como se observa en la Ilustración 41, el resultado es 630 V, que se encuentra entre los 210 y 800 V admisibles, determinando así que el inversor ha sido escogido correctamente.

$$V_{\text{inversor}} = V_{\text{módulo FV}} \cdot n^{\circ} \text{módulos en serie} = 35 \cdot 18 = 630 \text{ V}$$

Ecuación 5: Cálculo del voltaje teórico de funcionamiento por cada cadena. Fuente: Elaboración propia



The screenshot shows the PVSyst software interface with the following sections:

- Subconjunto:**
 - Nombre y orientación del subconjunto: Nombre: Generador FV, Inclinación: 35°, Azimut: 0°.
 - Ayuda de pre-dimensionamiento: Potencia planeada: 98.0 kWp, Área disponible: 500 m².
 - Selección del módulo FV: Trina Solar, 400 Wp 35V, Si-mono, TSM-DE15H-(II)-400. Dimensionamiento: V_{mpp} (60°C): 36.2 V, V_{oc} (-10°C): 55.4 V.
 - Selección del inversor: SMA, 12 kW, 210-800 V TL, 50/60 Hz, Sunny Tripower STP 12-50. Voltaje de salida: 400 V Tri 50Hz. Voltaje de funcionamiento: 210-800 V. Poder global inversor: 24.0 kWca.
 - Diseño del conjunto: Núm. de módulos y cadenas: Mód. en serie: 18, Núm. cadenas: 4. Condiciones de operación: V_{mpp} (60°C): 651 V, V_{mpp} (20°C): 762 V, V_{oc} (-10°C): 998 V. Irradia. plano: 1000 W/m². Potencia de funcionamiento máx.: 28.5 kW. Potencia nom. conjunto (STC): 28.8 kWp.
- Lista de subconjuntos:**

Nombre	#Mód #Inv.	#Cadena #MPPT
Trina Solar - TSM-DE15H-(II)-400	18	4
SMA - Sunny Tripower STP 12-50	2	1
- Resumen sistema global:**

Núm. de módulos	72
Área del módulo	146 m²
Núm. de inversores	2
Potencia FV nominal	28.8 kWp
Potencia de CA nominal	24.0 kWCA
Proporción Pnom	1.200

Ilustración 42: Resumen de la instalación óptima. Fuente: PVSyst

Habiendo recopilado, comprobado e introducido todos los parámetros y dimensionamientos finales de la instalación, se puede ejecutar la simulación para observar si se ha llegado al óptimo (lo cual se confirmó al simular varias veces hasta obtenerlo). En la Ilustración 43, se referencia la imagen a modo de resumen de los resultados principales del sistema definitivo, que ha sido confirmado como el óptimo de manera iterativa.



The screenshot shows the simulation parameters and main results in PVSyst:

- Parámetros de simulación:**
 - Proyecto: Casa Residencial
 - Sitio: Pueblonuevo del Bellaque
 - Tipo sistema: Conectado a la red
 - Simulación: 01/01 al 31/12 (Datos meteo genéricos)
- Generador FV:**
 - Módulos FV: TSM-DE15H-(II)-400
 - Potencia nominal: 28.8 kWp
 - Voltaje MPP: 41.6 V
 - Corriente MPP: 9.6 A
 - Inversor: Sunny Tripower STP 12-50
 - Inv. unidad de potencia: 12.0 kW
 - Núm. de inv.: 2
- Resultados principales:**
 - Producción del sistema: 49.1 MWh/año
 - Prod. específica: 1706 kWh/kWp/año
 - Proporción de rendimiento: 0.853
 - Prod. normalizada: 4.67 kWh/kWp/día
 - Pérdidas del conjunto: 0.70 kWh/kWp/día
 - Pérdidas del sistema: 0.10 kWh/kWp/día

Ilustración 43: Resultados principales del sistema óptimo. Fuente: PVSyst

Una vez que se ha establecido la dimensión de la superficie necesaria para llevar a cabo esta instalación, se procede a decidir y situar esta área en la propia parcela de la propiedad. En la Ilustración 44, se ha incluido el área en la que se implementará toda la instalación. Como se puede observar en ésta, se han dejado ciertos metros cuadrados de más en caso de que sean necesarios, debido a posibles requerimientos a la hora de instalar el conjunto fotovoltaico. También se ha posicionado al perímetro de la superficie de manera que ya se encuentre ésta orientada hacia el sur. No obstante, de ser necesario, se podrá utilizar más terreno. También, su forma rectangular ha sido establecida así, pues, según el sistema a instalar de la Ilustración 42, se deben tener 4 cadenas de 18 módulos en serie de los módulos fotovoltaicos. De manera que haya suficiente distancia como para evitar las sombras producidas por los mismos, así como suficiente espacio para maniobrar ante circunstancias inesperadas.



Ilustración 44: Definición de la superficie donde estará la instalación fotovoltaica. Fuente: Sigpac

Es imprescindible comentar cómo la producción de este sistema a instalar sería de 49,1 MWh anuales. Se trata de un valor que no es exageradamente alto en comparación con el consumo anual estimado a través de la media histórica, en la Ecuación 2, de 38,476 MWh anuales. Es más, se obtiene un colchón de producción que solventaría cualquier adversidad

en la que el consumo pudiese aumentar demasiado, atípicamente, o si se instalasen, repentinamente, numerosos y nuevos equipos en la propia casa residencial. Cosa que entraría dentro de los planes del propietario que, hasta ahora, no lo estaban, debido al presupuesto limitado con respecto a la factura de la luz.

Los aspectos más detallados en cuanto a los resultados se verán en el Capítulo 6. , en el que se analizarán extensamente y se especificarán conclusiones acerca de los datos obtenidos. Se analizarán varios gráficos otorgados por el mismo programa, *PVSyst*.

Capítulo 5. PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN

ECONÓMICA GLOBAL

5.1 CÁLCULO DE LOS COSTES

En primer lugar, se debe calcular cuánto es el coste total de la instalación. Para esto, habrá que ver cuáles son los gastos asociados al proyecto, en su totalidad. Éstos, están conformados por: la inversión inicial en los propios componentes (en específico, los módulos fotovoltaicos y los inversores), el transporte de éstos hasta la propiedad, los sistemas de instalación, sumándole la mano de obra, y el gasto de mantenimiento anual que tendrá el sistema a integrar.

Empezando con el precio de los módulos fotovoltaicos, se ha estado evaluando diferentes proveedores hasta encontrar la mejor oferta. El precio del módulo *TSM-DE 15H-(II)-400* ha resultado ser de 169,96 € por cada uno. A este gasto habrá que añadirle el transporte, que el proveedor dice ser de 595 €, debido al destino y cargamento. Quedando un precio total de 12832,12 €, justificado en la Ecuación 6. [28]

$$\begin{aligned} \text{Precio}_{\text{módulos FV}} &= n^{\circ}_{\text{módulos}} \cdot \text{Precio}_{\text{panel}} + \text{Transporte} = 72 \cdot 169,96 + 595 \\ &= 12832,12\text{€} \end{aligned}$$

Ecuación 6: Cálculo del precio de los módulos fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia

Para los inversores, se ha obtenido el presupuesto de 2670 €, a través de un proveedor que incluye los costes de transporte. Siendo necesario usar dos inversores, del tipo *Sunny Tripower STP 12-50*, queda el total de 5340 €, explicado en la Ecuación 7. [29]

$$\text{Precio}_{\text{inversores}} = n^{\circ}_{\text{inversores}} \cdot \text{Precio}_{\text{inversores}} = 2 \cdot 2670 = 5340\text{€}$$

Ecuación 7: Cálculo del precio de los inversores. Fuente: Elaboración propia

Tanto los componentes de instalación como su adherida mano de obra tienen un coste calculado a través de un porcentaje de alrededor del 10% del coste de la inversión inicial. Instalaciones sobre viviendas de este tipo suelen tener un coste cerca de los 1200 €. Por lo que se operará con la cantidad final de 1350€, pues esta instalación es de un calibre algo mayor que la media de las viviendas, además, así se podrá tener un mayor margen de operación. En esta cantidad también se ha incluido el coste de los sistemas de monitorización comentados en el apartado 2.3 y los costes de obtención de los permisos necesarios para la completa instalación. [30]

Por último, queda comentar el coste de mantenimiento anual, que será un valor fijo para el resto de la vida útil de la instalación. Uno de los aspectos más valiosos de la energía fotovoltaica es este: el poco gasto en mantenimiento que requiere una vez que se han instalado dichas placas. Únicamente debe hacerse un servicio de limpieza, unas 4 veces al año, en los módulos para que la suciedad acumulada (polvo y gotas de agua secas, p. e.) no disminuya el rendimiento global de la instalación. Se estima que el coste de mantenimiento ronda, en general, entre el 1 y el 2% de una inversión total. [31]

Del mismo modo que se hizo para la mano de obra, se utilizará un coste de mantenimiento situado en la media, del 1,5% de la inversión. Entonces, siendo la inversión total de 19522,12 € según la Ecuación 8, se tiene un coste del mantenimiento de 292,83 €, como se indica en la Ecuación 9.

$$\begin{aligned} \text{Inversión} &= \text{Precio}_{\text{módulos}} + \text{Precio}_{\text{inversores}} + \text{Precio}_{\text{instalación}} \\ &= 12832,12 + 5340 + 1350 = 19522,12 \text{ €} \end{aligned}$$

Ecuación 8: Cálculo de la inversión total. Fuente: Elaboración propia

$$\text{Precio}_{\text{mantenimiento}} = 1,5\% \cdot \text{Inversión} = 292,83 \text{ €}$$

Ecuación 9: Cálculo del precio del mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

5.2 RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN

El punto más importante que destacar durante este capítulo es el plazo de amortización que el propietario ha dado para este proyecto, el cual es de 12 años. Al tener los componentes una vida útil total de 25 años significa que se deja un margen para amortizar todo el proyecto de tan solo la primera mitad de la vida de este.

Para comenzar a calcular la rentabilidad del proyecto, se debe conocer cuánto se está pagando anualmente por la electricidad contratada. Esto se resuelve remontándose al apartado 3.3, en el que se incluyó la factura de la luz. Con ésta, la cual data del mes de enero con su consumo e importe facturado, se observa el término del coste medio mensual histórico. Este dato viene dado por la Ilustración 45.

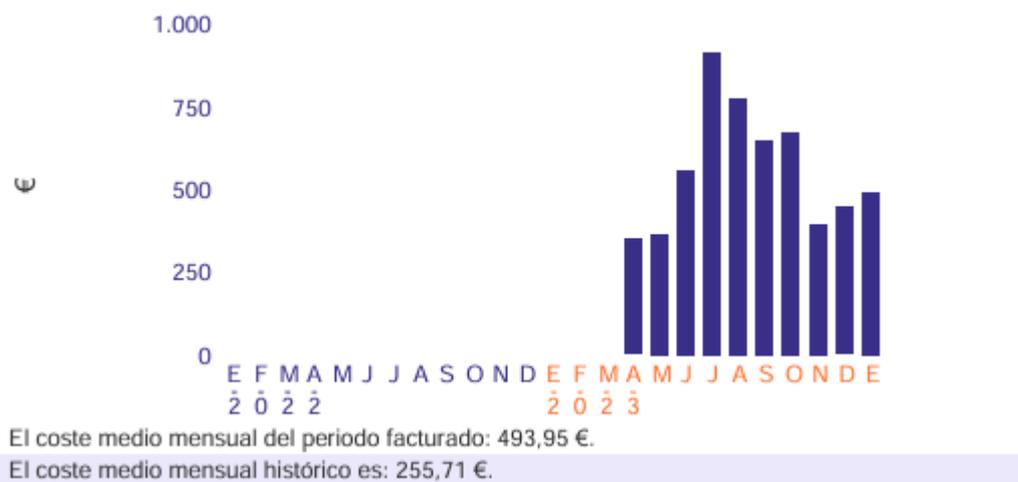


Ilustración 45: Histórico del coste mensual medio en €. Fuente: Nexus energía

Por lo tanto, para obtener el coste anual total del consumo contratado se debe hacer el cálculo de la Ecuación 10, donde queda reflejado un monto de 3068,52 €. Que será el importe anual de la factura de la luz.

$$Coste_{anual} = 12 \cdot Coste_{mensual} = 12 \cdot 255,71\text{€} = 3068,52\text{€}$$

Ecuación 10: Cálculo del coste anual de la factura eléctrica. Fuente: Elaboración propia

Habiendo establecido el coste de la factura de la compañía eléctrica para el consumo total, se puede asegurar que parte de este valor, una vez que se haya instalado el sistema fotovoltaico, se convertirá en ahorro. Esto sucederá porque el sistema es capaz de proporcionar todavía más energía de la que se consume, pues se generan unos 10,6 MWh extra, según se observó en la Ilustración 43.

Es decir que, con el sistema instalado, se estimará un ahorro del 70% del importe íntegro de la factura, siendo esto de 2147,96 € anualmente. Esto es porque se estima que, a lo largo del año, el consumo de la vivienda se dará en un 70% del tiempo en el que las placas solares reciban la suficiente irradiancia solar como para que la instalación pueda suplir el consumo demandado. Siendo el 30% restante correspondiente a las horas en las que se consume luz eléctrica pero no hay energía solar que abastezca los módulos. En caso de que el consumo ascendiese, también se seguirá ahorrando dinero hasta llegar casi al 128 % de consumo de más. Como se ve en la Ecuación 11.

$$\%Energía\ extra = \frac{Energía_{generada}}{Energía_{consumida}} \cdot 100 = \frac{49,1\ MWh}{38,476\ MWh} \cdot 100 = 127,61\ \%$$

Ecuación 11: Cálculo de la energía extra generada por el sistema óptimo. Fuente: Elaboración propia

Para explicar la amortización de la instalación a implementar de la manera más visual posible, se ha elaborado la Tabla 3 con el programa *Excel*. En ella, se puede observar cómo, a partir del año décimo se empieza a amortizar el proyecto. Esto supera las expectativas, por 1 año, del propietario quien había dado un plazo máximo para considerar viable el proyecto de 12 años.

La tabla ha sido elaborada mostrando la inversión anual a realizar, el gasto fijo del mantenimiento anual, calculado en el apartado 5.1 anterior, y el importe de la factura por año, de media. Posteriormente, se han incluido los gastos acumulados de la casa residencial, sin instalación, donde el único gasto es el de la factura eléctrica (sumándose año tras año). Después, se añaden los gastos con la instalación en marcha, éstos son la inversión inicial y el gasto en mantenimiento anual, ahorrándose el 70% de la factura de la luz.

Para estudiar la rentabilidad de haber incluido esta instalación, se estudia la diferencia entre estos valores, por año, y se obtiene el balance acumulado. Reflejado en la Tabla 3, que es negativo hasta el año décimo (expresado en rojo), pero un balance positivo a partir del undécimo año (en verde). Estos años en los que ocurre este punto de inflexión, décimo y undécimo, han sido representados en amarillo para una mejor comprensión de la rentabilidad.

Año	Inversión Inicial	Mantenimiento	Coste Total	Factura	Ahorro	Sin instalación	Con instalación	Balance Acumulado
1º	-19814,5	-292,83	-20107,33	-3068,52	2147,96	-3068,52	-21027,89	-17959,37
2º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-6137,04	-22241,27	-16104,23
3º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-9205,56	-23454,66	-14249,10
4º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-12274,08	-24668,04	-12393,96
5º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-15342,6	-25881,43	-10538,83
6º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-18411,12	-27094,82	-8683,70
7º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-21479,64	-28308,20	-6828,56
8º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-24548,16	-29521,59	-4973,43
9º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-27616,68	-30734,97	-3118,29
10º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-30685,2	-31948,36	-1263,16
11º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-33753,72	-33161,75	591,97
12º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-36822,24	-34375,13	2447,11
13º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-39890,76	-35588,52	4302,24
14º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-42959,28	-36801,90	6157,38
15º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-46027,8	-38015,29	8012,51
16º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-49096,32	-39228,68	9867,64
17º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-52164,84	-40442,06	11722,78
18º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-55233,36	-41655,45	13577,91
19º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-58301,88	-42868,83	15433,05
20º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-61370,4	-44082,22	17288,18
21º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-64438,92	-45295,61	19143,31
22º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-67507,44	-46508,99	20998,45
23º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-70575,96	-47722,38	22853,58
24º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-73644,48	-48935,76	24708,72
25º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-76713	-50149,15	26563,85

Tabla 3: Cálculo anual de la amortización del sistema a instalar. Fuente: Excel

Es necesario destacar que se ha representado hasta el año vigésimo quinto por la siguiente razón. Un proyecto de estas dimensiones y formado por estos componentes se estima, como se ha ido comentando, que tenga una vida útil de 25 años. Es decir, se garantiza que la instalación podrá funcionar al mismo rendimiento, siempre y cuando reciba el oportuno mantenimiento, durante ese tiempo. Pese a que el ahorro anual en sí siempre será constante, el balance acumulado irá sumando cuánto se ha conseguido ahorrar a lo largo de los años aplicando dicha inversión.

Para poder demostrar cómo se ha conseguido amortizar el proyecto a partir del séptimo año, se ha incluido la Ilustración 46. En ella, se puede observar cómo se llega al valor de un balance (representado con la línea roja) de 0 €, una vez pasado el punto de inflexión durante el décimo año. Cabe destacar que también se ha incluido en el diagrama (con la línea azul) el coste total de la instalación, observándose en él la inversión inicial y el coste de mantenimiento anual.

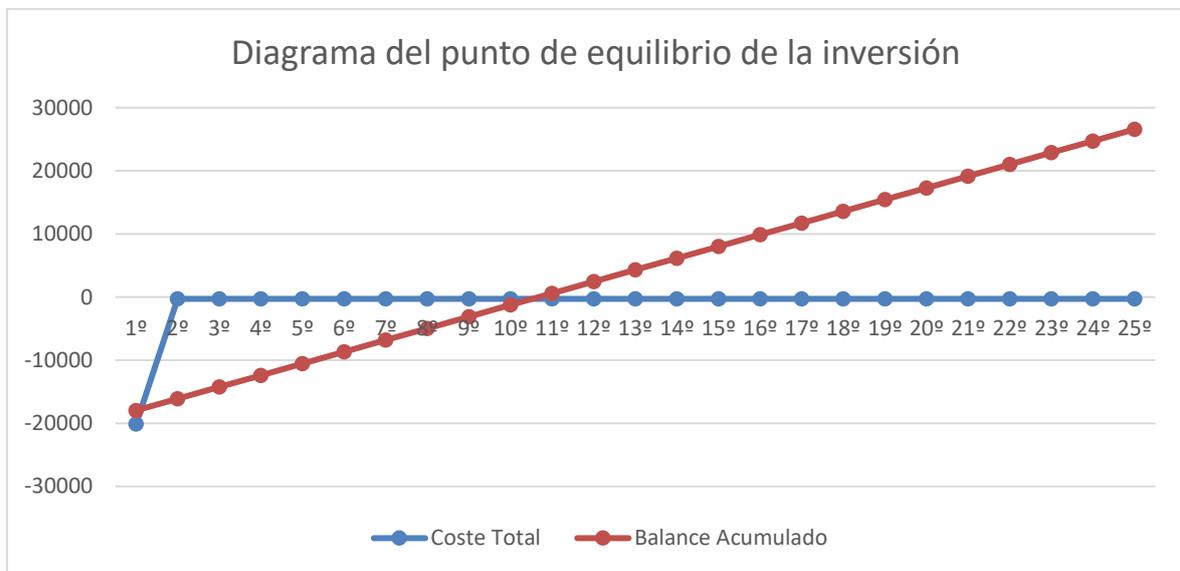


Ilustración 46: Diagrama del punto de equilibrio de la inversión inicial. Fuente: Excel

A partir de este momento (décimo año) el balance acumulado será positivo, consiguiendo añadir a cada año el mismo ahorro del anterior, consiguiendo una diferencia total entre los dos sistemas (con y sin instalación), en el año vigésimo quinto, de 26563,85 €. Se trata de una cifra muy valiosa a tener en cuenta, pues se consigue amortizar el proyecto en casi el 133%, como se observa en la Ecuación 12.

$$\% \text{ amortización} = \frac{\text{Balance acumulado}_{25^{\circ} \text{ Año}}}{\text{Coste Total}_{1^{\circ} \text{ Año}}} \cdot 100 = \frac{26563,85}{20107,33} \cdot 100 = 132,11\%$$

Ecuación 12: Cálculo de la amortización entre el ahorro final y la inversión inicial. Fuente: Elaboración propia

No obstante, se podría dar la situación en la que la instalación tuviera una vida útil mayor a los 25 años. Es decir que, si a partir de este momento la instalación fuese capaz de seguir

produciendo energía a un rendimiento alto, se podría seguir obteniendo un ahorro en la factura eléctrica. Reduciendo así todavía más el coste total, del sistema con la instalación, y siendo la inversión todavía mejor de la esperada.

Con el objetivo de indagar más y obtener una conclusión más real a cerca de la rentabilidad, se ha decidido calcular el Valor Actual Neto (VAN) de la inversión. En la Ecuación 13, se observa su fórmula. El VAN es un indicador dinámico de la inversión, que considera el valor de los pagos e ingresos futuros del inversor (durante los 25 años de vida útil del proyecto), en el momento actual una vez que ya han sido descontados.

$$VAN_1 = -Inversión_{inicial} + \sum_{t=2}^{n=25} \frac{Flujo\ de\ caja_t}{(1+i)^t}$$

Ecuación 13: Fórmula del VAN de la instalación. Fuente: Elaboración propia

En la fórmula se incluye el coste de la inversión inicial y el flujo de caja anual, ambos son calculados restándole los gastos anuales (el de mantenimiento) a los *ingresos* (el ahorro de la factura eléctrica). Mientras que el valor de la *i* viene dado por la tasa de descuento anual que, considerando la tasa de inflación y los tipos de interés de las energías renovables de como las de esta instalación de aquí a 25 años, es de un 7,09%. Se ha obtenido mediante el programa *Excel*, el siguiente VAN, observado en la Tabla 4. [32]

Obteniéndose un resultado del VAN de 2942,14 €. Debido a que se trata de un valor positivo, pues la suma de todos los valores actuales (capitalizados) es más elevada que el importe de la inversión, según el cálculo efectuado, se puede considerar que la inversión es rentable. Un valor positivo indica que la inversión planificada genera más beneficios que un depósito bancario al tipo de descuento establecido en la instalación durante el mismo periodo, que en este caso es de 7,09% y de 25 años respectivamente. [33]

Es reseñable especificar que el ingreso en sí es inexistente. Pero se ha calculado el flujo de caja de una forma en la que la diferencia de gastos se considere como una entrada positiva dentro del coste normal, pero anual, de la instalación.

Año	Inversión	Mantenimiento	Ahorro	Flujo de Caja
1º	-19814,5	-292,83	2147,96	-17959,366
2º	0	-292,83	2147,96	1855,134
3º	0	-292,83	2147,96	1855,134
4º	0	-292,83	2147,96	1855,134
5º	0	-292,83	2147,96	1855,134
6º	0	-292,83	2147,96	1855,134
7º	0	-292,83	2147,96	1855,134
8º	0	-292,83	2147,96	1855,134
9º	0	-292,83	2147,96	1855,134
10º	0	-292,83	2147,96	1855,134
11º	0	-292,83	2147,96	1855,134
12º	0	-292,83	2147,96	1855,134
13º	0	-292,83	2147,96	1855,134
14º	0	-292,83	2147,96	1855,134
15º	0	-292,83	2147,96	1855,134
16º	0	-292,83	2147,96	1855,134
17º	0	-292,83	2147,96	1855,134
18º	0	-292,83	2147,96	1855,134
19º	0	-292,83	2147,96	1855,134
20º	0	-292,83	2147,96	1855,134
21º	0	-292,83	2147,96	1855,134
22º	0	-292,83	2147,96	1855,134
23º	0	-292,83	2147,96	1855,134
24º	0	-292,83	2147,96	1855,134
25º	0	-292,83	2147,96	1855,134
			i	7,09%
			VAN	2.942,14 €

Tabla 4: Obtención del VAN de la inversión. Fuente: Excel

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA

DEFINITIVO

Con motivo de introducir este capítulo, se quiere dejar claro el porqué de no haber llevado a cabo un sistema en el que se emplearía toda el área disponible de la parcela, cuyo procedimiento fue explicado en el apartado 4.3. La explicación viene dada por dos razones.

La primera resulta ser porque el propietario de la finca rural no quiere transformar la totalidad de la parcela en un campo solar, pues no es la función principal ni el objetivo de la propiedad, la de convertirse en una finca de macro producción solar. Además, la parcela tiene una función estética para la vivienda, así como ser un lugar de ocio en el que se pueden realizar eventos. Por eso se prefiere minimizar el área de producción, con tal de que sea suficiente para generar todo el consumo de la vivienda.

La segunda razón es porque el presupuesto disponible para la inversión de la generación fotovoltaica es bastante limitado, habiendo sido aceptado una vez que se conoció el plazo de amortización real del proyecto, de diez años. Por lo tanto, cuanto menor fuese la inversión (siempre y cuando se lograra el objetivo de hacer una instalación provechosa y rentable) mejor iba a consolidarse el proyecto en la realidad.

6.1 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN

Gracias a las herramientas proporcionadas por *PVSyst* se llega a una información muy detallada acerca de la producción total, por meses, de la instalación que se va a efectuar en la casa residencial. En la Ilustración 47 se observan estos números, donde se relaciona la energía normalizada (en kWh) de las placas fotovoltaicas por cada mes del año. También, se estudia en la misma imagen los valores de la pérdida del sistema y de la pérdida de colección. Las cuales han sido minimizadas y, como se ve, son muy reducidas.

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 28.80 kWp

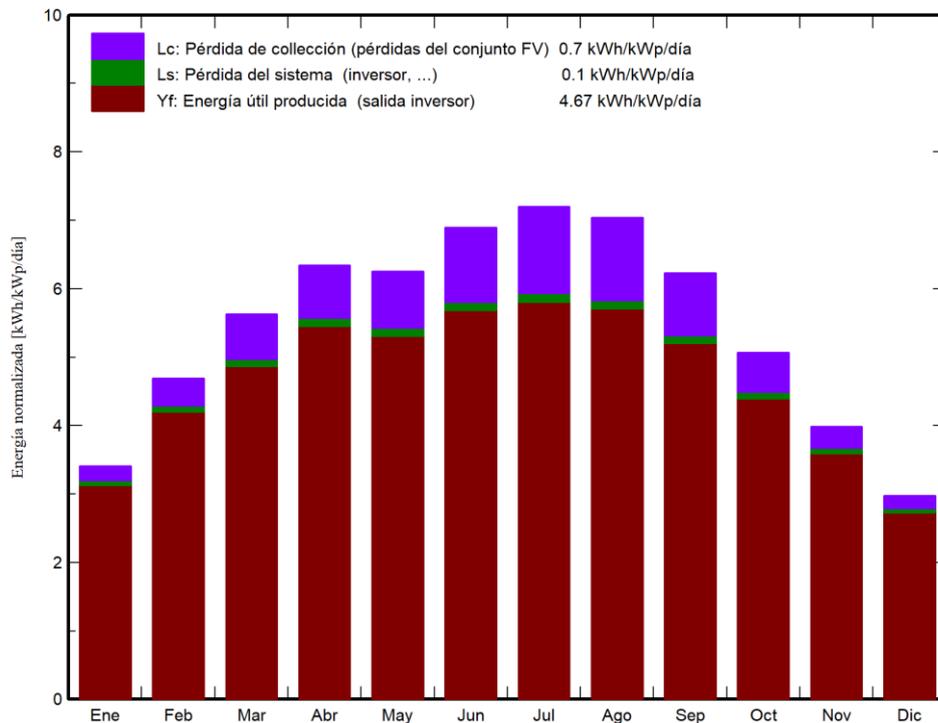


Ilustración 47: Energía útil normalizada por meses del sistema óptimo. Fuente: PVSyst

Comparando las imágenes, previamente mencionadas, la Ilustración 27 y la Ilustración 47, se observa cómo la producción mensual de la instalación es siempre mayor a la del consumo (que utiliza los valores del pasado año 2023 como referencia, y a la que se asemejarán los futuros años). Esto significa que en todo momento, de media, se conseguiría ahorrar el importe de la factura de la luz correspondiente a las horas en las que las placas solares puedan funcionar al rendimiento calculado, lo que se ha estimado en el 70% del año.

Gracias a este detalle, se podrá incluso utilizar más energía de la que se consumió en el pasado año. Hasta el punto de consumir más del 127%, como se vio en la Ecuación 11. Esto permitirá no solo reconocer una correcta decisión de la totalidad de la instalación, sino que también permitirá emplear nuevos equipos o sistemas de carga mayores a los que hay integrados ahora en la casa residencial. Cosa que ahora sí se está valorando entre los

planes del propietario de la finca rural, pues hasta la fecha era impensable debido al limitado presupuesto en gastos de suministros eléctricos.

Otra de las características más merecidas de analizar es la relación que hay entre la proporción del rendimiento y los meses del año. En la Ilustración 48 se observa cómo este aspecto corresponde a un número elevado, siendo la media del rendimiento de la producción de energía del 85,3%.

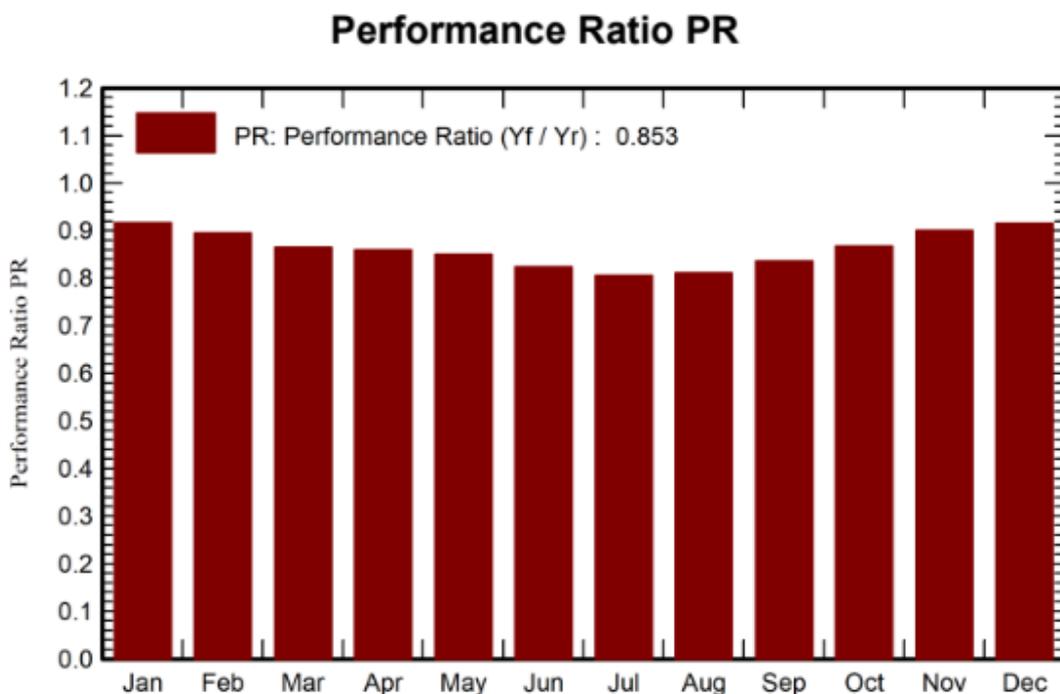


Ilustración 48: Proporción del rendimiento por meses del sistema óptimo. Fuente: PVSyst

6.2 ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS

Es imprescindible comentar las pérdidas del sistema a instalar, pues se debe evaluar todo el proyecto de la manera más objetiva y científica posible. Para que así, comprendiendo todos los posibles aspectos a optimizar (aunque todo haya sido elegido de la mejor manera posible respecto a las condiciones limitantes de la instalación), exista cabida a la posible futura mejora (gracias a nuevos productos o avances tecnológicos) de los procesos y de los componentes elegidos.

Uno de los gráficos más representativos de las pérdidas, que el programa proporciona, es el del diagrama de Sankey de la instalación. Es apreciado en la Ilustración 49.

Diagrama de pérdida para "Nueva variante de simulación" - año

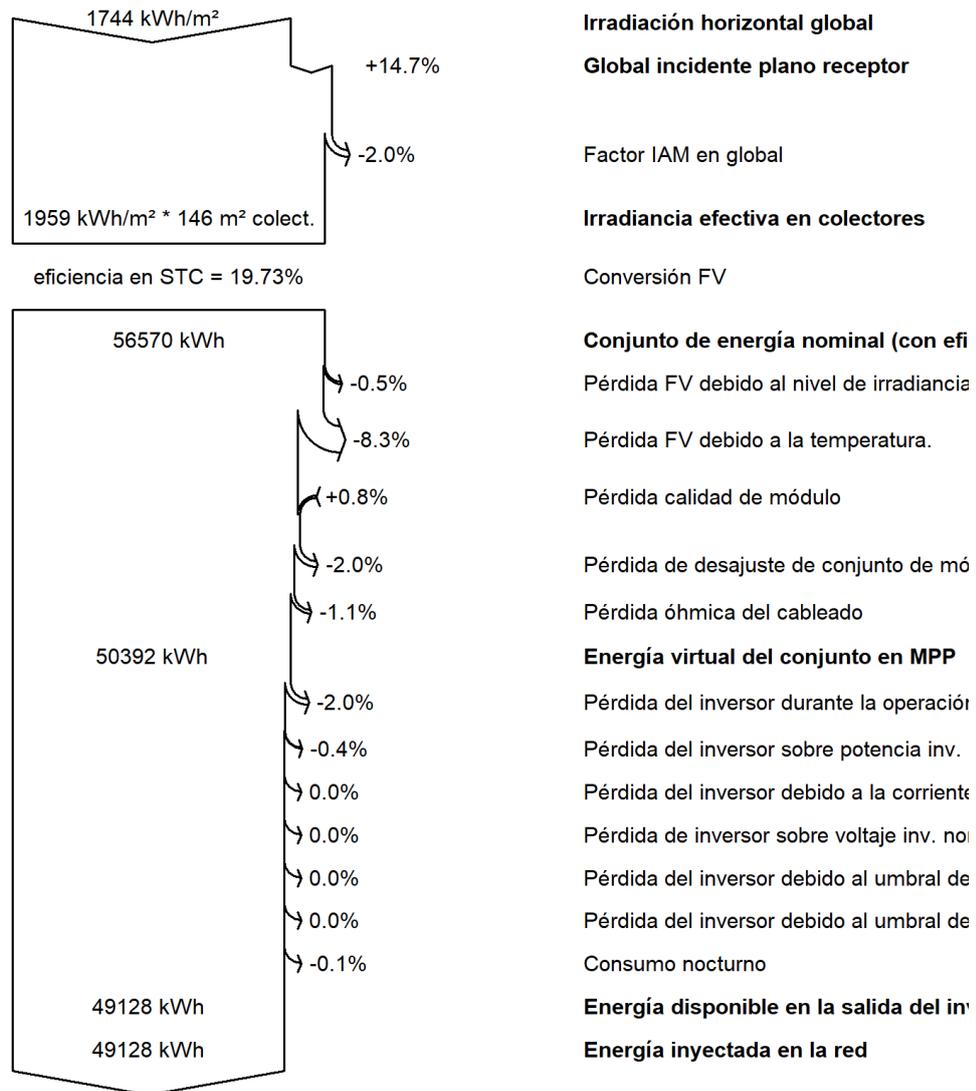


Ilustración 49: Diagrama de Sankey anual de las pérdidas de la instalación. Fuente: PVSyst

La primera parte del diagrama expresa ciertas pérdidas que se dan en los propios paneles solares debido a que no se puede conseguir una perfecta colocación de estos para maximizar la llegada de los fotones (por el cambio estacional, p. e.). Se puede observar una

ganancia energética del 14,7% gracias a la conversión de la irradiancia desde el plano horizontal hasta el plano receptor (inclinación 35°). Sin embargo, las pérdidas que hay son causadas por el factor IAM (Incidence Angle Modifier). Este factor viene dado por la corrección de las reflexiones de los distintos ángulos de incidencia del sol distintos de los 0°. Una vez que se han tenido en cuenta todos estos factores, se llega a una energía en el plano colector final de unos 56,57 MWh al año.

En la siguiente parte del diagrama, se observan muchas más pérdidas, que van desde el propio colector de luz hasta que la energía es vertida, para el propio consumo, a la red. De entre todas estas pérdidas las más destacables son las siguientes: la pérdida del 8,3% de eficiencia debida al aumento de temperatura de los módulos fotovoltaicos, la pérdida del inversor del 2% debido a las características funcionales del mismo y, también, las pérdidas del 2% por el desajuste del conjunto de los módulos entre sí. La suma de todas estas pérdidas hace que, finalmente, la energía total producida anualmente sea de 49,128 MWh anuales.

También es de vital importancia argumentar los factores de producción observados en la Ilustración 50. En esta imagen se puede observar lo mismo que se comentó en el apartado 6.1, en la Ilustración 48, acerca de la proporción del rendimiento. La diferencia es que, en esta nueva imagen, se observa cuál es el porcentaje restante de energía que se ha perdido. Observando estos valores de manera mensual, los meses de mayor pérdida de colección son los correspondientes al verano. Mientras que ocurre al revés en invierno. Este fenómeno puede explicarse por cómo el aumento de temperatura de los módulos fotovoltaicos baja la eficiencia de la instalación.

Sin embargo, estas pérdidas no son muy altas y, de media, resultan ser del 12,8%. Mientras que las pérdidas del sistema, en su conjunto, se mantienen más o menos constantes con un valor medio del 1,9%. Siendo el resto del porcentaje dirigido directamente a la energía útil producida del 85,3%.

Producción normalizada y factores de pérdida: Potencia nominal 28.80 kWp

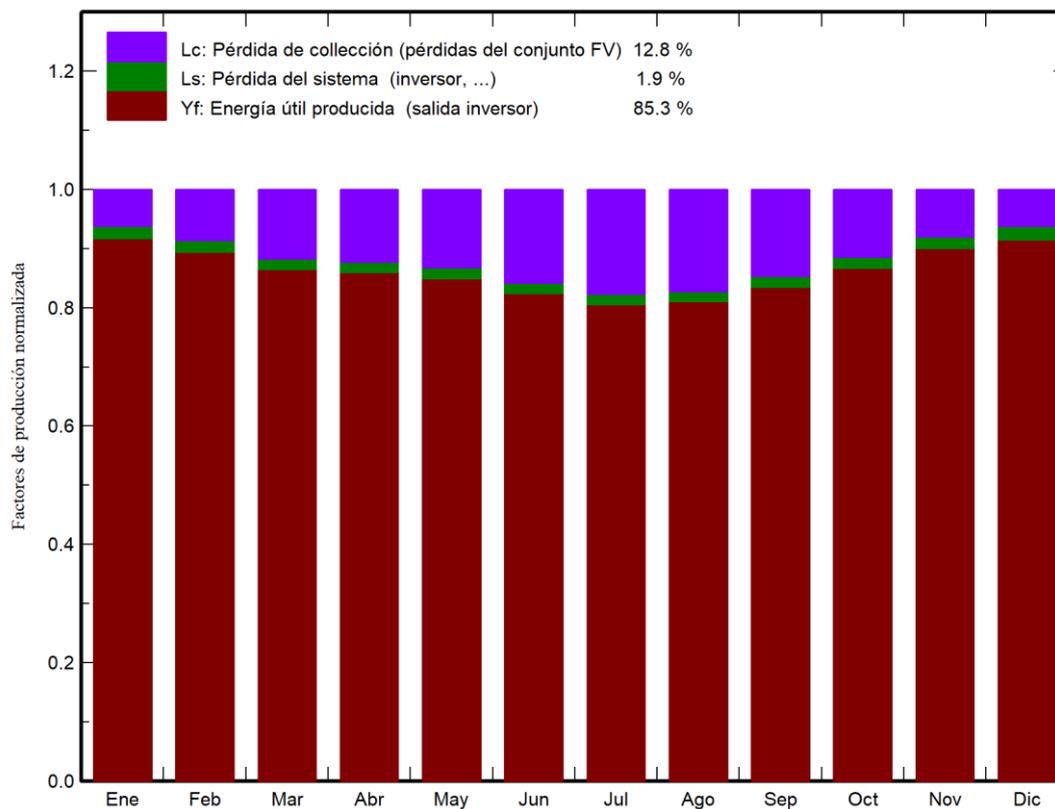


Ilustración 50: Factores de producción normalizada por meses del sistema óptimo. Fuente: PVSyst

Capítulo 7. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha realizado un análisis detallado acerca de cómo mejorar la eficiencia energética de una casa residencial de una finca rural. Siguiendo diversos objetivos y motivos personales, se ha decidido implementar una instalación fotovoltaica que consiguiese producir, al menos, el consumo mínimo de la mencionada propiedad. Siempre y cuando todo el proyecto tuviera una finalidad económica positiva y ventajosa para el propietario. Considerando la inversión como viable si el plazo máximo de amortización fuese de 12 años. Los cálculos oportunos para simular la instalación óptima de generación se han efectuado a través del uso del programa *PVSyst*, mientras que los cálculos de viabilidad económica han sido con la herramienta *Excel*.

Durante el Capítulo 1. se ha introducido el proyecto a grandes rasgos, exponiendo los motivos personales y objetivos a desarrollar durante el trabajo. Estos objetivos han sido alineados con los ODS y, primordialmente, son: el de mejorar la eficiencia energética de la propiedad, pues supone un hito personal el poder llevarlo a cabo; conseguir un ahorro económico muy considerable para la propiedad; aprender acerca de cómo funcionan y repercuten las instalaciones fotovoltaicas; y reducir las emisiones negativas para el medio ambiente de gases que intensifican el efecto invernadero de la antigua propiedad. A lo largo de este capítulo se introduce el porqué del empleo de la energía solar como fuente renovable capaz de mejorar la eficiencia de la instalación.

Como bien se ha mencionado, durante el Capítulo 2., se procedió a describir extensamente el funcionamiento de las mismas placas solares. Se explicó primero cómo el efecto fotovoltaico consigue transformar la energía solar en energía eléctrica, a través de los módulos fotovoltaicos. Gracias a la excitación de los electrones de la Unión P-N en las celdas solares, se puede conseguir la circulación de estos electrones, consiguiendo una corriente eléctrica suficientemente alta como para alimentar una carga. En este caso, la carga será todo el consumo proveniente de la casa residencial.

Se aprovechó para explicar cómo debe ser la orientación de estas placas solares según la ubicación de la casa residencial, en el hemisferio norte, que debe ser hacia el sur porque en esta parte del mundo el sol sigue un recorrido a través de esta mitad del cielo, como bien se aprecia en la Ilustración 14.

Antes de entrar en detalle sobre los cálculos de la propia instalación, tuvo lugar el Capítulo 3. En él, se especificó al detalle: la superficie, las condiciones ambientales, el consumo y el impacto medioambiental que tiene la casa residencial. Se puede observar el lugar donde se procederá a situar la instalación fotovoltaica en el terreno adyacente (mostrando el área disponible) a la propiedad, Ilustración 23. Más tarde, se demostrará que tan solo una pequeña porción de esta parcela será suficiente. Para establecer perfectamente los parámetros dentro del programa PVSyst, fue necesario incluir la información más relevante acerca de las condiciones ambientales y meteorológicas del sitio en el que está ubicada la casa residencial: en la zona de los Yébenes, provincia de Ciudad Real, España.

Una vez que ambos parámetros fueron sentenciados, se realizó un estudio acerca del consumo específico de la instalación. A través de la factura eléctrica de la luz se consiguió, observando la Ilustración 51, calcular el consumo energético anual de la propiedad, de 38,476 MWh. También se pudo evaluar cómo es su impacto medioambiental debido a las emisiones de CO₂ y residuos radioactivos provenientes de la generación de la comercializadora, los cuales son demasiado elevados y han de ser erradicados. Reafirmando así la necesaria inclusión de la generación eléctrica a través de la energía solar, con producción fotovoltaica.

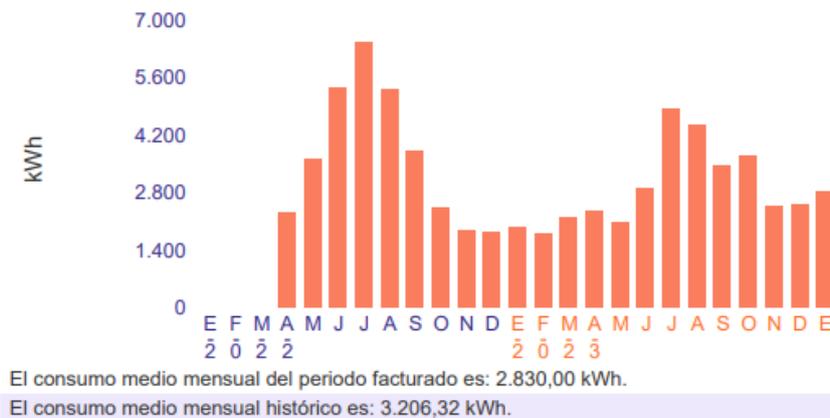


Ilustración 51: Histórico del consumo mensual medio en kWh. Fuente: Nexus energía

Los cálculos sobre la simulación y debida explicación de la instalación fueron elaborados en el Capítulo 4. En él, se procedió a justificar el porqué del uso del programa en cuestión, *PVSyst*. El cuál, de una manera sencilla pero completa consigue simular, mediante el uso de numerosas variables, la generación de cualquier instalación. En este caso, se procedió a exponer los detalles meteorológicos de la propia base de datos del programa. Seguido de esto, se demostró cómo una inclinación de los módulos de 35°, debido a la latitud de la ubicación del trabajo, resulta ser la óptima para reducir las pérdidas.

Posteriormente se dividió este capítulo en otros dos apartados. En el primero, se realizó un sistema en el que se utilizaría toda el área de la parcela (1600 m²) para la generación eléctrica. Sin embargo, resultó ser demasiado excesivo para el consumo que tiene la propiedad en cuestión. Así como la inversión, que hubiera sido desmesurada en cuanto a la finalidad que tiene la casa residencial. Es por esto por lo que este apartado, el 4.3, sirvió de una manera introductoria para explicar cómo se usa el programa y justificar que es mejor el sobredimensionamiento solar que el potencial.

En el segundo apartado, el 4.4, se realiza finalmente la simulación del sistema definitivo y óptimo. El cuál es capaz de producir una energía mayor a la del consumo. El sistema usará 4 cadenas de 18 módulos en serie, de módulos fotovoltaicos de 400 Wp de 35 V, así como 2 inversores de 12 kW. Quedando resumido en la Ilustración 52.

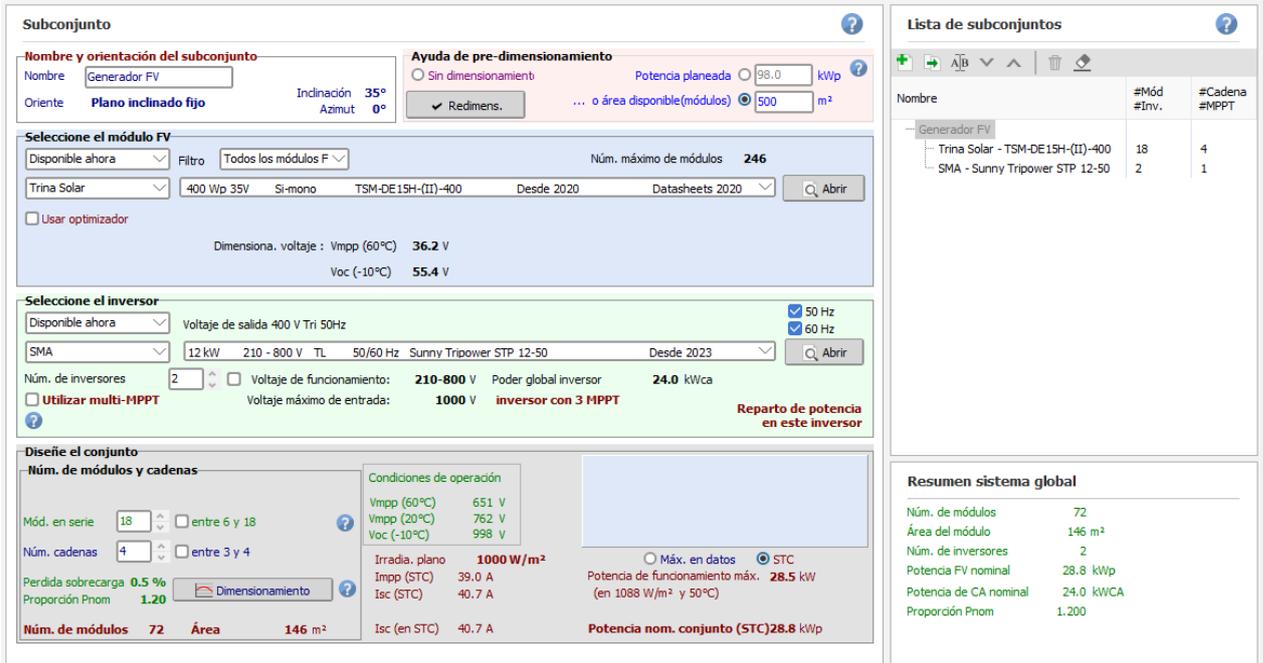


Ilustración 52: Resumen de la instalación óptima. Fuente: PVSyst

Esto permite tener un colchón de producción, así como garantizar que se producirá, de media, más energía de la consumida, por lo que el ahorro en la factura de la luz será estimado del 70% (tiempo en el que se consumirá energía a la vez que la instalación fotovoltaica recibe suficiente irradiancia) durante todo el año. Pues la generación, según la Ilustración 43, es de 49,1 MWh.

Para poder demostrar que el proyecto, con el sistema definitivo, es rentable, se realizó el Capítulo 5. En él, se empezó calculando los costes de instalación. Tras haber indagado en los proveedores más económicos de todos los componentes a instalar, así como añadiendo los gastos de mantenimiento, mano de obra, etc. Se procedió a calcular el gasto de la inversión inicial total, en la Ecuación 8, que es de 19814, 5€, y el gasto anual (correspondiente al mantenimiento), de 292,83 €, obtenido con la Ecuación 9.

Para calcular la rentabilidad de la inversión se remontó a la factura de la luz en la que se especificó en la Ecuación 10, un coste de 3068,52 € anuales. Como toda la generación se puede transformar en producción, se convirtió gran parte de ese gasto (el 70%) en ahorro anual gracias a la instalación fotovoltaica. Sumando este valor cada año, se puede ver en la

misma Tabla 5, cómo se consigue amortizar el proyecto a lo largo del décimo año de haber hecho la instalación.

Año	Inversión Inicial	Mantenimiento	Coste Total	Factura	Ahorro	Sin instalación	Con instalación	Balance Acumulado
1º	-19814,5	-292,83	-20107,33	-3068,52	2147,96	-3068,52	-21027,89	-17959,37
2º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-6137,04	-22241,27	-16104,23
3º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-9205,56	-23454,66	-14249,10
4º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-12274,08	-24668,04	-12393,96
5º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-15342,6	-25881,43	-10538,83
6º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-18411,12	-27094,82	-8683,70
7º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-21479,64	-28308,20	-6828,56
8º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-24548,16	-29521,59	-4973,43
9º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-27616,68	-30734,97	-3118,29
10º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-30685,2	-31948,36	-1263,16
11º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-33753,72	-33161,75	591,97
12º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-36822,24	-34375,13	2447,11
13º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-39890,76	-35588,52	4302,24
14º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-42959,28	-36801,90	6157,38
15º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-46027,8	-38015,29	8012,51
16º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-49096,32	-39228,68	9867,64
17º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-52164,84	-40442,06	11722,78
18º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-55233,36	-41655,45	13577,91
19º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-58301,88	-42868,83	15433,05
20º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-61370,4	-44082,22	17288,18
21º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-64438,92	-45295,61	19143,31
22º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-67507,44	-46508,99	20998,45
23º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-70575,96	-47722,38	22853,58
24º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-73644,48	-48935,76	24708,72
25º	0	-292,83	-292,83	-3068,52	2147,96	-76713	-50149,15	26563,85

Tabla 5: Balance acumulado anual de la instalación. Fuente: Excel

Por último, se analizaron los resultados en el Capítulo 6. Se empezó comentando la producción. Esta es estimada, a través del programa simulador, mayor que el consumo, de media, en todos los meses. Quedando reflejado en la Ilustración 53. También se observa, en la Ilustración 48, una proporción del rendimiento del 85,3%, el cual es un valor alto y valioso de la instalación.

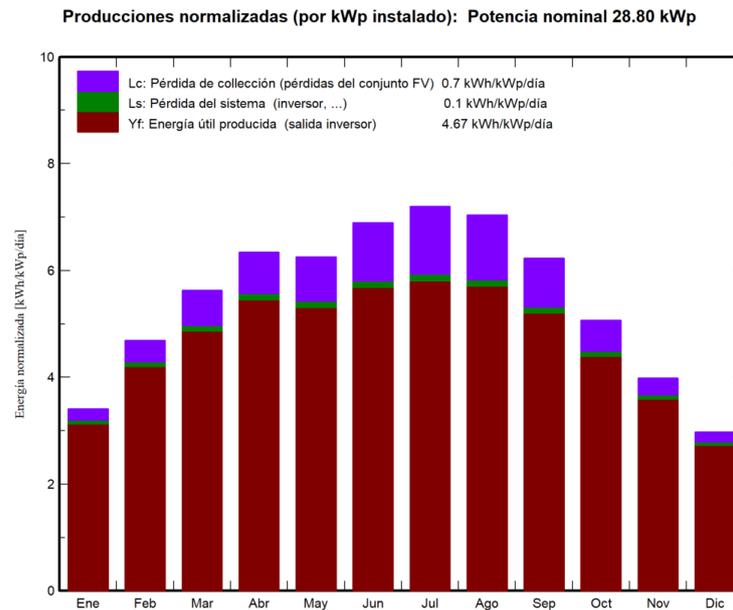


Ilustración 53: Análisis de la producción mensual del sistema. Fuente: PVSyst

Por último, se concluye el trabajo aportando la Ilustración 54. En ella se incluye un croquis, en el lugar de instalación, de cómo sería el sistema óptimo. Incluyendo 4x18 módulos en un área mayor que la que especifica PVSyst como mínimo, que fue de 146 m².



Ilustración 54: Croquis del sistema definitivo en el lugar de instalación. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Atlas de Radiación Solar En España (© AEMET).” *Tu Optometrista*, 29 May 2024, www.tuoptometrista.com/radiacion-solar/atlas-de-radiacion-solar-en-espana-aemet/.
- [2] “¿Qué Es La Eficiencia Energética Y Qué Ventajas Tiene?” *REPSOL*, www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/index.cshtml#:~:text=El%20concepto%20de%20uso%20eficiente.
- [3] “Cambio Climático: Gases de Efecto Invernadero Que Causan El Calentamiento Global.” *Temas / Parlamento Europeo*, 23 Mar. 2023, www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que-causan-el-calentamiento-global.
- [4] “Los Gases de Efecto Invernadero Vuelven a Batir Un Récord.” *Voz de América*, www.vozdeamerica.com/a/cambio-climatico-gases-efecto-invernadero-baten-recordf/3049879.html.
- [5] Moran, Mirtha. “La Agenda Para El Desarrollo Sostenible.” *Desarrollo Sostenible*, [www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/#:~:text=Los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible%20\(ODS\)%20constituyen%20un%20llamamiento%20universal](http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/#:~:text=Los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible%20(ODS)%20constituyen%20un%20llamamiento%20universal).
- [6] “¿Qué Es El Efecto Fotovoltaico?” *Autosolar.es*, autosolar.es/aspectos-tecnicos/efecto-fotovoltaico.
- [7] “Efecto Fotoelectrico.” *Areatecnología*, www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html.

- [8] “¿Por Que En La Region de Agotamiento de Una Union PN Es Imposible Que Los Electrones Pasen Del Material Tipo P al Material Tipo N?” *Quora*, 2019, es.quora.com/Por-que-en-la-region-de-agotamiento-de-una-Union-PN-es-imposible-que-los-electrones-pasen-del-material-tipo-P-al-material-tipo-N.
- [9] Jimenez, Heber Gabriel Pico. “Barrera Interna de Potencial O Zona de Carga Espacial En Semiconductores.” *Monografias.com*, 28 Oct. 2013, www.monografias.com/trabajos98/barrera-interna-potencial-o-zona-carga-espacial-semiconductores/barrera-interna-potencial-o-zona-carga-espacial-semiconductores.
- [10] *ASOCIACIÓN POWERLIFTING UNIDOS de ARGENTINA*. “Celda fotovoltaica” powerliftingunidosdeargentina.com.ar/?o=%C2%BFc%C3%B3mo-funciona-un-panel-solar-celdas-fotovoltaicas-ww-Pgmzr6tX.
- [11] “¿En Qué Dirección Deben Orientarse Los Paneles Solares?” *Tictacsolar*, 10 Nov. 2021, www.tictacsolar.com/blog/direccion-orientarse-paneles-solares/#:~:text=La%20orientaci%C3%B3n%20sur%20es%20la.
- [12] “3.1. Movimientos de Traslación.” *EScholarium*, 2020, escholarium.educarex.es/coursePlayer/clases2.php?editar=0&idcurso=48995&idclase=2634327&contentStyle=modern&modo=0.
- [13] Boyle, G. (Ed.). (2012). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press
- [14] SotySolar. “Principales Componentes En Una Instalación Fotovoltaica SotySolar.” *Componentes Instalación Fotovoltaica*, 30 Jan. 2023, sotysolar.es/blog/componentes-instalacion-fotovoltaica?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=search_DSA&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0_WyBhDMARIsAL1Vz8sYEPeYgX5YmbP1c0vvJZKjBV2k5Vdqou9VqFdrNzrm2tcJU8PirmkaAl0QEALw_wcB.

- [15] “Módulos.” *Www.solarinnova.net*,
www.solarinnova.net/es/productos/fotovoltaica/modulos.
- [16] “High Quality 12v 24v DC to AC 110v 220v Pure Sine Wave Inverter Power Inverter 600w 1000w 3000W - AliExpress.” *Aliexpress.*,
es.aliexpress.com/i/1005003888004337.html.
- [17] Baterías Para Paneles Solares 【Solinc】 . 13 Dec. 2021, solinc.com.mx/blog/panel-solar/baterias-para-paneles-solares/.
- [18] “Controlador de Carga Solar de 30 A.” Grupo F&S,
fscompras.com/producto/controlador-de-carga-solar-de-20-a/.
- [19] Kit de Montaje Para Techo de Chapa 10 Paneles 60 Celdas | ADN Solar - Tienda Online. adnsolar.com.ar/producto/kit-de-montaje-para-techo-de-chapa-10-paneles-60-celdas/.
- [20] Andrei. “Instalación Solar Aislada Empresas.” Solarix, 12 July 2020,
www.solarix.es/instalacion/solar/fotovoltaica/aislada/empresas/.
- [21] “El Tiempo En 2023 En El Aeropuerto Central Ciudad Real, España - Weather Spark.” Es.weatherspark.com, [es.weatherspark.com, es.weatherspark.com/h/y/147750/2023/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2023-en-el-Aeropuerto-Central-Ciudad-Real-Espa%C3%Bl#Figures-Temperature](https://es.weatherspark.com/h/y/147750/2023/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2023-en-el-Aeropuerto-Central-Ciudad-Real-Espa%C3%Bl#Figures-Temperature).
- [22] Gerendas, Gustavo. “Todo Sobre El Certificado de Eficiencia Energética En Madrid 2022.” *Geräh Real Estate Agencia Inmobiliaria Puerta de Hierro*, 23 May 2022,
www.gerah-realestate.es/todo-sobre-el-certificado-de-eficiencia-energetica-en-madrid-2022/.
- [23] “Overview > General Description of the Pvsyst Software.” Pvsyst.com, 2019,
www.pvsyst.com/help/general_descr.htm.

- [24] “La Mejor Orientación E Inclinación de Tu Placa Solar | Solarprofit.”
[Solarprofit.es, solarprofit.es/es/blog/inclinacion-y-orientacion-placas-solares/](https://solarprofit.es/es/blog/inclinacion-y-orientacion-placas-solares/).
- [25] Elena. “¿Me Interesa Sobredimensionar Mi Campo Solar Respecto al Inversor?”
Cambio Energético, 17 May 2022, www.cambioenergetico.com/blog/sobredimensionar-campo-solar/#:~:text=El%20sobredimensionamiento%20de%20un%20campo%20solar%20permite%20sacar%20el%20m%C3%A1ximo.
- [26] “Qué Es El Sobredimensionamiento | Amara NZero.” Amaranzero.mx,
amaranzero.mx/academia/blog/que-es-el-sobredimensionamiento.
- [27] “¿Cuál Es La Diferencia Entre Paneles Solares Monocristalinos Y Policristalinos?”
Factorenergia, www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/paneles-solares-monocristalinos-y-policristalinos/#:~:text=Los%20monocristalinos%20son%20m%C3%A1s%20eficientes.
- [28] “Panel Trina Solar 400W Vertex S Marco Negro.” *Efecto Solar*,
<https://efectosolar.es/tienda/paneles-solares/panel-trina-solar-400w-vertex-s-marco-negro/>
- [29] “SMA Sunny Tripower X 12.” *SolarTopStore.com*,
https://www.solartopstore.com/products/sma-sunny-tripower-x-12?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6F4dSCNqyvLw-mwaHCNovuKp4sML1zPDmyCq9OrDVtV-YMdVifpvfvoCMMoQAvD_BwE
- [30] BTODigital, BTODigital. “¿Cuál Es El Precio de Instalación de Placas Solares En Una Vivienda Unifamiliar?” Energía ERCAM - Solar Fotovoltaica, Lideres En Seguidores Solares, 26 Feb. 2021, ercam.es/cual-es-el-precio-de-instalacion-de-placas-solares-en-una-vivienda-unifamiliar/.
- [31] *How Much Does It Cost to Maintain a Solar Farm? – Climate Cafes.*
climatecafes.org/how-much-does-it-cost-to-maintain-a-solar-farm/.

- [32] “IPC de España 2020.” Datosmacro.com, datosmacro.expansion.com/ipc-paises/espana.
- [33] “La CNMC Publica La Metodología de Cálculo de La Tasa de Retribución Financiera de Las Actividades Del Sector Eléctrico Para El Periodo 2020-2025 | CNMC.” [Www.cnmc.es, www.cnmc.es/la-cnmc-publica-la-metodologia-de-calculo-de-la-tasa-de-retribucion-financiera-de-las-actividades](https://www.cnmc.es/la-cnmc-publica-la-metodologia-de-calculo-de-la-tasa-de-retribucion-financiera-de-las-actividades).

ANEXO I: FACTURA ELÉCTRICA

Datos de Pago

Forma de pago: Domiciliación

Fecha de vencimiento: 14/03/2024

Tipo de factura: Original

Recuerde que el importe de la factura le será cargado en su cuenta a partir de la fecha de cargo.

Detalle de la Factura

Concepto	Periodo	Cantidad	Precio	Descripción	Importe
EnergíaP1	01/01/2024-31/01/2024	782 kWh	14,4240 cent€/kWh	Peajes: 2,1899 cent€/kWh - Cargos: 1,3305 cent€/kWh	112,80 €
EnergíaP1	01/01/2024-31/01/2024	-553 kWh	14,4129 cent€/kWh	Peajes: 2,1899 cent€/kWh - Cargos: 1,3305 cent€/kWh	-79,70 €
EnergíaP2	01/01/2024-31/01/2024	535 kWh	12,2767 cent€/kWh	Peajes: 1,1675 cent€/kWh - Cargos: 0,9856 cent€/kWh	65,68 €
EnergíaP2	01/01/2024-31/01/2024	-360 kWh	12,2739 cent€/kWh	Peajes: 1,1675 cent€/kWh - Cargos: 0,9856 cent€/kWh	-44,19 €
EnergíaP6	01/01/2024-31/01/2024	1,513 kWh	8,8814 cent€/kWh	Peajes: 0,0212 cent€/kWh - Cargos: 0,1064 cent€/kWh	134,38 €
EnergíaP6	01/01/2024-31/01/2024	-1,093 kWh	8,8845 cent€/kWh	Peajes: 0,0212 cent€/kWh - Cargos: 0,1064 cent€/kWh	-97,11 €

Base Imponible	Tipo impositivo	Impuesto Aplicado	Cuota
91,86 €	2,5 %	IEE	2,30 €
94,16 €	21 %	I.V.A	19,77 €

IMPORTE TOTAL DE LA FACTURA

113,93 €

NOTAS

IEE (Ley 38/1992), "En virtud del RDL 8/2023, de 27 de diciembre, el IEE aplicable a su factura se encuentra reducido del 5,1127% al 2,5% el primer trimestre y al 3,8% durante el segundo. Dichos cargos serán de aplicación a las facturas emitidas a partir del 1 de enero de 2024, independientemente del periodo de facturación.

Atención Cliente y Reclamaciones: 900 818 533 | 932 993 332 |
atencioncliente@nexusenergia.com
Domicilio postal: Carrer Consell de Cent, 42 08014 Barcelona

Averías y Urgencias UNIÓN FENOSA DISTRIBUCIÓN S.A.
900 333 999 - <https://aresprivada.ufd.es/>

Nexus Energía está adherida a una entidad de resolución alternativa de litigios de consumo a la que puede acudir si no está de acuerdo con la resolución de su reclamación. Para mayor información sobre el arbitraje y procedimiento: 920389045 www.consumo.gob.es/es/consumo/juntasArbitrales/nexus.html

**Cambiamos, porque queremos
acercar la energía a las personas.**



The Yellow Energy S.L.U., con sede social en Consell de Cent, 42, 08014 - Barcelona - España inscrita en el Registro Mercantil de Barcelona. Hoja B-437254. Folio 154. Tomo 43748. N.I.F.: B66027731

www.nexusenergia.com

▶ **Histórico del Consumo**



El consumo medio mensual del periodo facturado es: 2.830,00 kWh.
El consumo medio mensual histórico es: 3.206,32 kWh.

▶ **Histórico del Coste**



El coste medio mensual del periodo facturado: 480,95 €.
El coste medio mensual histórico es: 255,71 €.

▶ **Detalle Consumo**

Periodo Tarifario	CONSUMO DE ENERGÍA ACTIVA (kWh)			Última lectura	Última lectura	Última lectura	Última lectura
	INICIAL 01/01/2024 (TL)	FINAL 31/01/2024 (TL)	CONSUMO Final-Initial	Distribuidora E. activa (kWh)	Distribuidora E. react. (kVarh)	Distribuidora Máximo (kWh)	Distribuidora Exceso potencia (J)
P1	13.638	14.191	553	14.191	5.752	10	0
P2	17.517	17.877	360	17.877	7.233	7	0
P3	17.433	17.433	0	17.433	8.621	0	0
P4	12.575	12.575	0	12.575	6.180	0	0
P5	5.900	5.900	0	5.900	2.341	0	0
P6	55.168	56.262	1.093	56.262	24.762	16	0

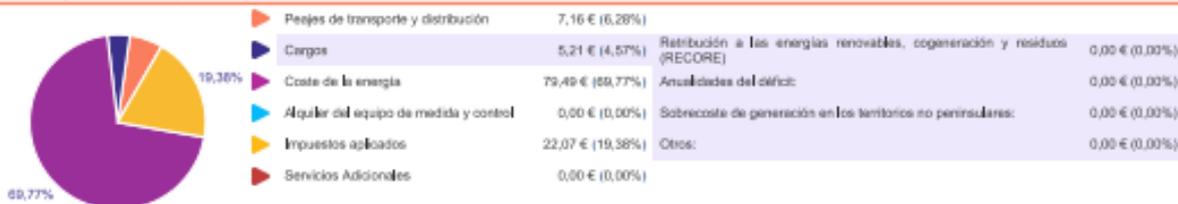
Tipo de lectura: TL: Lectura exacta obtenida por medicación telemática; LRD: Lectura real facilitada por distribuidora; LED: Lectura estimada facilitada por distribuidora; CL: Lectura aportada por el cliente; NC: Lectura Nexus obtenida en base a la mejor información disponible en la fecha de facturación.

▶ **Historial de los peajes de la empresa Distribuidora**

Inicio	Fin	DESVÍOS DE POTENCIA Y EXCESOS DE REACTIVA		Historial de Máximos						Historial de Excesos de Potencia (€)						Importe Exceso	
		Exceso Reactivo	Desvío Potencia	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6		
01/08/2023	31/08/2023	5,24€	0,00€	0,00	0,00	16,64	14,56	0,00	12,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00€
01/09/2023	30/09/2023	0,00€	0,00€	0,00	0,00	10,40	11,44	0,00	17,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00€
01/10/2023	31/10/2023	0,00€	0,00€	0,00	0,00	0,00	13,52	12,48	13,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00€
01/11/2023	30/11/2023	0,00€	0,00€	0,00	9,36	8,32	0,00	0,00	10,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00€
01/12/2023	31/12/2023	0,00€	0,00€	11,44	9,36	0,00	0,00	0,00	11,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00€
01/01/2024	31/01/2024	0,00€	0,00€	10,40	7,28	0,00	0,00	0,00	15,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00€

Desvíos de potencia y exesos de reactiva: La energía reactiva y los desvíos de la potencia máxima respecto a la potencia contratada se calculan en base a la lectura real determinada por la Distribuidora aplicando el Circular 6/2020 y posteriores modificaciones. Nexus Energía imputa dicho importe cuando lo recibe de la Distribuidora, por eso no siempre coincide con el mes facturado, ya que estos datos pueden llegar con cierto retraso.

▶ **Desglose del importe de la factura**



▶ **Información sobre el Origen de su Electricidad**

Origen de la electricidad de su comercializadora. 2022			Impacto ambiental de su comercializadora. 2022																																											
<p>THE YELLOW ENERGY, S.L.U.</p> <p>Renovable; 3,0%</p> <p>Otras no renovables; 8,8%</p> <p>Nuclear; 35,4%</p> <p>Fuel/Gas; 1,9%</p> <p>Carbón; 4,9%</p> <p>Cogen. Alta Eficiencia; 2,1%</p> <p>CC Gas Natural; 43,9%</p>			<p>La letra 'A' corresponde al mínimo impacto ambiental, la 'G' a la media de generación nacional y la 'G' al máximo impacto ambiental.</p>																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Origen</th> <th>THE YELLOW ENERGY, S.L.U.</th> <th>Mix generación nacional</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Renovable</td> <td>3,0%</td> <td>43,3%</td> </tr> <tr> <td>Cogen. Alta Eficiencia</td> <td>2,1%</td> <td>2,1%</td> </tr> <tr> <td>CC Gas Natural</td> <td>43,9%</td> <td>25,7%</td> </tr> <tr> <td>Carbón</td> <td>4,9%</td> <td>2,9%</td> </tr> <tr> <td>Fuel/Gas</td> <td>1,9%</td> <td>1,1%</td> </tr> <tr> <td>Nuclear</td> <td>35,4%</td> <td>20,7%</td> </tr> <tr> <td>Otras no renovables</td> <td>8,8%</td> <td>5,2%</td> </tr> </tbody> </table>			Origen	THE YELLOW ENERGY, S.L.U.	Mix generación nacional	Renovable	3,0%	43,3%	Cogen. Alta Eficiencia	2,1%	2,1%	CC Gas Natural	43,9%	25,7%	Carbón	4,9%	2,9%	Fuel/Gas	1,9%	1,1%	Nuclear	35,4%	20,7%	Otras no renovables	8,8%	5,2%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Emisiones de CO₂ equivalente</th> <th>Residuos Radiactivos Alta Actividad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>THE YELLOW ENERGY, S.L.U.</td> <td>THE YELLOW ENERGY, S.L.U.</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>G</td> </tr> </tbody> </table>		Emisiones de CO ₂ equivalente	Residuos Radiactivos Alta Actividad	THE YELLOW ENERGY, S.L.U.	THE YELLOW ENERGY, S.L.U.	A	A	B	B	C	C	D	D	E	E	F	F	G	G
Origen	THE YELLOW ENERGY, S.L.U.	Mix generación nacional																																												
Renovable	3,0%	43,3%																																												
Cogen. Alta Eficiencia	2,1%	2,1%																																												
CC Gas Natural	43,9%	25,7%																																												
Carbón	4,9%	2,9%																																												
Fuel/Gas	1,9%	1,1%																																												
Nuclear	35,4%	20,7%																																												
Otras no renovables	8,8%	5,2%																																												
Emisiones de CO ₂ equivalente	Residuos Radiactivos Alta Actividad																																													
THE YELLOW ENERGY, S.L.U.	THE YELLOW ENERGY, S.L.U.																																													
A	A																																													
B	B																																													
C	C																																													
D	D																																													
E	E																																													
F	F																																													
G	G																																													
<p>Emisiones CO₂ eq. (g/kWh) Media nacional (g/kWh)</p>			<p>Residuos Radiactivos (µg/kWh) Media nacional (µg/kWh)</p>																																											
<p>273 162</p>			<p>771 452</p>																																											
<p>Más información sobre el origen de su electricidad en https://gdo.comc.es/</p>																																														

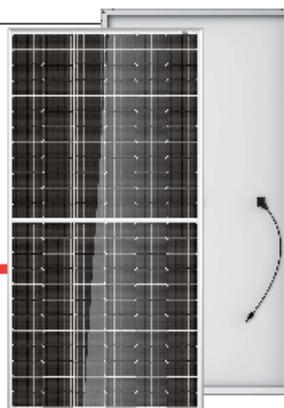
NOTAS: ICADE Se actualizan peajes según Resolución de 21 de diciembre de 2023 de la CNMC (BOE-A-2023-26251) y se mantienen cargos según Orden TED/1512/2022 (BOE-A-2022-23737). Se actualiza el coste de financiación de la retribución del operador del sistema en 2024 mediante Resolución de 15 de diciembre de 2023 (BOE-A-2023-26328). Se actualizan los precios según el resultado de la subasta del Servicio de Respuesta Activa de la Demanda aprobado por Resolución de la CNMC de 19 de Octubre de 2023 (BOE-A-2023-22497).

ANEXO II: COMPONENTES: MÓDULOS

FOTOVOLTAICOS E INVERSORES

Mono Multi Solutions

THE **TALLMAX^M PLUS⁺**
FRAMED 144 HALF-CELL MODULE



144-Cell
MONOCRYSTALLINE MODULE

385-400W
POWER OUTPUT RANGE

19.7%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy and believes close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar uses state-of-the-art PV products to serve 100 countries all over the world. Trina is always providing exceptional products to each customer in each market and supplying our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, dependable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with investors, developers, distributors and other partners.

Comprehensive Products And System Certificates

ISO 9001:2015 ALL SYSTEMS ISO 14001:2015 ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEM
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO 45001: Occupational Health and Safety Management System



Trina solar

PRODUCTS	COLOR OF FRAME	POWER RANGE
TSM-02L5H10	Silver	385-400W



Increased value

- Reduce BOS cost with high power bin and 1500V system voltage
- Low thermal coefficients for greater energy production at higher temperature



Half-cell design brings higher efficiency

- New cell string layout and split J-box location to reduce the energy loss caused by inter-row shading
- Integrated LRF (Light Redirecting Film) to enhance power, specially for ground-mount applications
- Lower cell connection power losses due to half-cell layout (144 monocrystalline)



Highly reliable due to stringent quality control

- Over 90 in-house tests (UV, TC, HF etc)
- Increased module robustness to minimize micro-cracks
- PID resistant and free of small trails
- Internal test requirement of Trina more stringent than certification authority



Certified to withstand the most challenging environmental conditions

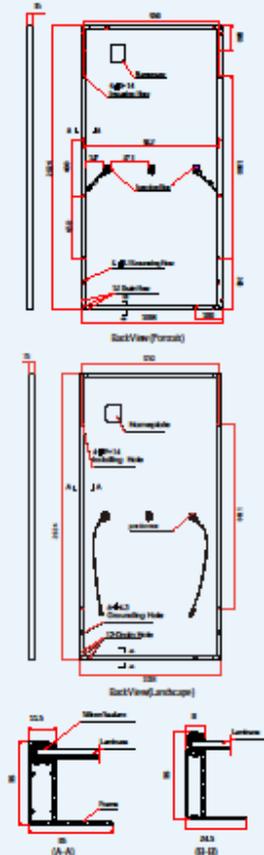
- 2400 Pa negative load
- 5400 Pa positive load



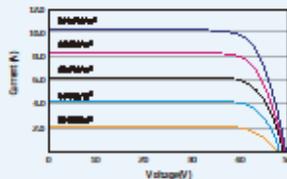
TALLMAXTM plus⁺

FRAMED 144 HALF-CELL MODULE

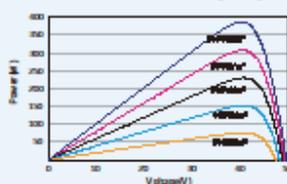
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



I-V CURVES OF PV MODULE(390W)



P-V CURVES OF PV MODULE(390W)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-P _{max} (Wp)*	385	390	395	400
Power Output Tolerance-P _{max} (W)	0 ~ +5			
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	40.1	40.5	40.8	41.1
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	9.61	9.64	9.69	9.74
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	48.5	48.7	50.1	50.4
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	10.09	10.08	10.13	10.18
Module Efficiency η _m (%)	18.9	19.2	19.4	19.7

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5
*Measurements tolerance: ±2%

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Maximum Power-P _{max} (Wp)	291	295	298	302
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	37.9	38.4	38.7	38.9
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	7.66	7.68	7.71	7.76
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	45.6	46.8	47.2	47.4
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	8.09	8.13	8.17	8.21

NMOT: Irradiance at 900W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline 158.75 × 158.75 mm
Cell Orientation	144 cells (6 × 24)
Module Dimensions	2024 × 1004 × 35 mm (79.69 × 39.53 × 1.38 Inches)
Weight	22.8 kg (50.3 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmitter, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy w/ 400 m Mounting Holes
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.008 inches ²), Portrait: N 140 mm/P 285 mm(5.51/11.22 inches) Landscape: N 1400 mm/P 1400 mm(55.12/55.12 inches)
Connector	Trina TS4

TEMPERATURE RATINGS

NMOT (Nominal Module Operating) temperature	41°C (±3°C)
Temperature Coefficient of P _{max}	- 0.37%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	- 0.29%/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.05%/°C

(DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
	1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 30 pieces
Modules per 40' container: 660 pieces

SUNNY TRIPower X 12 / 15 / 20 / 25
powered by ennexOS



En periodo de lanzamiento al mercado: licencia gratuita para SMA Dynamic Power Control

STP 12-50 / STP 15-50 / STP 20-50 / STP 25-50



SMA ShadeFix



SMA ArcFix



SMA Smart Connected

Gestor de sistemas integrado

- Monitorización y control de hasta 5 inversores (máx. 135 kVA)
- Acceso directo a Sunny Portal powered by ennexOS
- SMA Dynamic Power Control

Seguridad incluida

- Función de protección contra arco voltaico SMA ArcFix
- Protección contra sobretensión de CC
- Protección simplificada de la planta y de la red

Máximo rendimiento

- Aumento del rendimiento gracias a la integración de SMA ShadeFix
- Diagnóstico de generadores LV
- SMA Smart Connected

Mayor flexibilidad

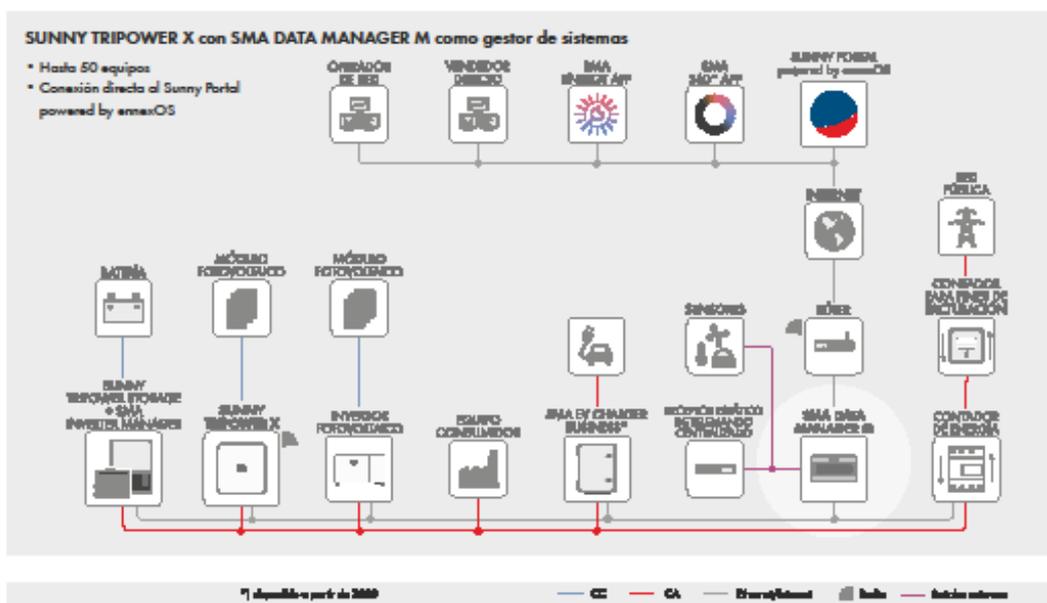
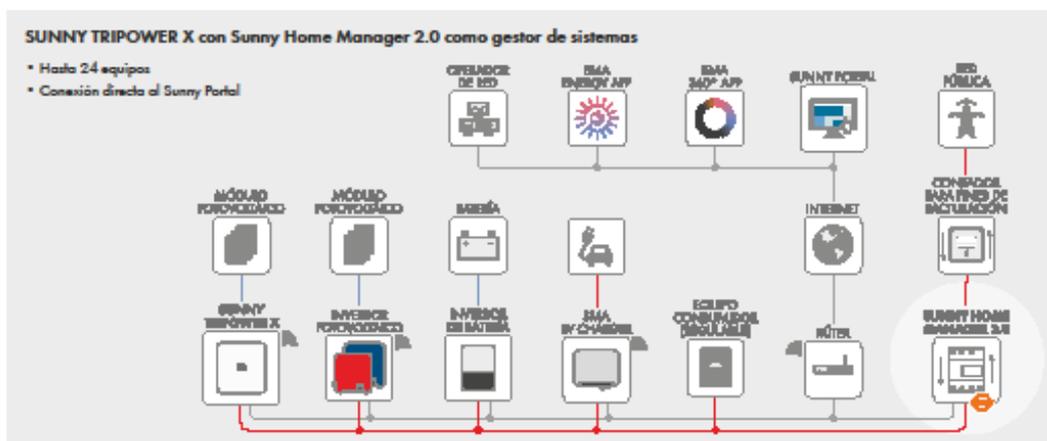
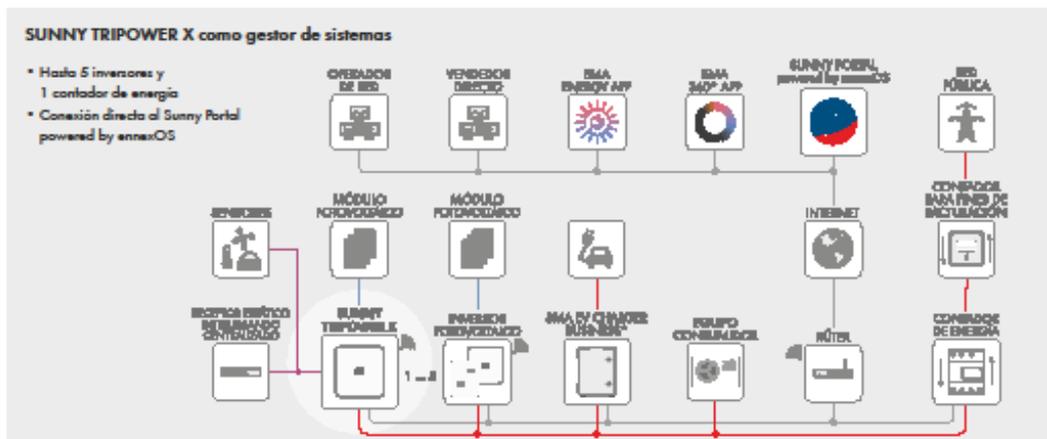
- 3 seguidores MPP
- Mayor corriente de entrada para módulos fotovoltaicos potentes
- Posibilidad de ampliación modular para futuras funciones de gestión energética

SUNNY TRIPower X 12 / 15 / 20 / 25

Inteligencia integrada en un diseño preparado para el futuro

El nuevo Sunny Tripower X es la solución innovadora para plantas fotovoltaicas industriales y plantas privadas de gran tamaño. La función de gestor de sistemas integrado con acceso directo al Sunny Portal powered by ennexOS controla hasta cinco inversores SMA y un Energy Meter. Este permite regular de forma dinámica la potencia activa y reactiva a través de SMA Dynamic Power Control. Gracias a su amplio rango de tensión de entrada y a la alta capacidad de corriente de entrada es compatible con los potentes módulos fotovoltaicos de última generación. A través del innovador diseño de la carcasa se consigue una refrigeración eficiente de los componentes electrónicos, lo que maximiza la vida útil del Sunny Tripower X.

La puesta en marcha se puede realizar fácil y rápidamente de forma centralizada para todos los equipos del sistema. Durante el funcionamiento, los usuarios pueden disfrutar de las soluciones de software integradas: SMA ShadeFix, que eleva el rendimiento de la planta fotovoltaica incluso en caso de sombreado parcial y SMA ArcFix, que detecta de manera efectiva los arcos voltaicos, y permite reducir el riesgo de incendios.



Datos técnicos	Sunny Tripower X 12	Sunny Tripower X 15	Sunny Tripower X 20	Sunny Tripower X 25
Entrada (CC)				
Potencia máx. del generador fotovoltaico	18000 W _p STC	22500 W _p STC	30000 W _p STC	37500 W _p STC
Tensión de entrada máx.	1000 V			
Rango de tensión del MPP	206 V a 800 V	257 V a 800 V	340 V a 800 V	430 V a 800 V
Tensión asignada de entrada	580 V			
Tensión de entrada mín. / Tensión de entrada de inicio	150 V / 188 V			
Corriente máx. de entrada por seguidor del MPP	24 A			
Corriente máx. de cortocircuito por seguidor del MPP	35 A			
Cantidad de seguidores del MPP independientes / Strings por seguidor del MPP	3 / 2			
Salida (CA)				
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	12000 W	15000 W	20000 W	25000 W
Potencia aparente asignada / Potencia aparente máx.	12000 VA/12000 VA	15000 VA/15000 VA	20000 VA/20000 VA	25000 VA/25000 VA
Tensión nominal de CA	220 V / 380 V; 230 V / 400 V; 240 V / 415 V			
Rango de tensión	176 V a 275 V / 304 V a 477 V			
Frecuencia de red / Rango	50 Hz / 44 Hz a 56 Hz 60 Hz / 54 Hz a 66 Hz			
Frecuencia de red asignada / Tensión de red asignada	50 Hz / 230 V			
Corriente de salida asignada / Corriente de salida máx.	17,4 A / 36,6 A	21,7 A / 36,6 A	29 A / 36,6 A	36,2 A / 36,6 A
Fases de inyección / Conexión de CA	3 / 3(N)-PE			
Factor de potencia a potencia asignada / Factor de desfase ajustable	1 / 0 inductivo a 0 capacitivo			
Armónicos (THD)	< 3 %			
Rendimiento				
Rendimiento máx. / Rendimiento europeo	98,2 % / 97,6 %	98,2 % / 97,8 %	98,2 % / 97,9 %	98,2 % / 98,0 %
Dispositivos de protección				
Punto de desconexión en el lado de entrada	●			
Monitorización de toma a tierra / Monitorización de red	● / ●			
Protección contra polarización inversa de CC / Resistencia al cortocircuito de CA	● / ●			
Dispositivo de monitorización de corriente residual sensible a cualquier corriente	●			
Clase de protección (según IEC 62109-1) / Categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)	I / CA; II; CC II			
Función de protección contra arco voltaico (APCI) / Diagnóstico de generadores LV	● / ●*			
Descargador de sobretensión CC (tipo 2, tipo 1/2)	○			
Datos generales				
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	728 mm / 762 mm / 266 mm (28,7 in / 30,0 in / 10,5 in)			
Peso	35 kg (77 lb)			
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)			
Emissiones de ruido, máximo (1 m)	< 65 dB(A)			
Autoc consumo (nocturno)	< 5 W			
Topología / Principio de refrigeración	Sin separación galvánica / OptiCool			
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65			
Categoría de clima (según IEC 60721-3-4)	4K26			
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %			
Equipamiento / Función / Accesorios				
Conexión de CC / Conexión de CA	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte			
Indicador led (estado / error / comunicación)	●			
Interfaz: Ethernet / WLAN / RS-485	● [2 puertos] / ● / ○*			
Protocolos de datos: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire	● / ● / ●			
Relé multifunción / Ranura para módulo de ampliación	● / ● (1 puerto)			
Número de entradas digitales	6			
Tipo de montaje	Montaje mural			
SMA ShadeFix / Integrated Plant Control / O on Demand 24/7	● / ● / ●			
Compatible con redes aisladas / Compatible con SMA Hybrid Controller	● / ●			
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 años	● / ○ / ○ / ○			
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	VDE AR-N 4105/4110:2018, EN 50549-1/-2:2018, CE, UKCA			
Función de gestor de sistemas				
Número total de equipos compatibles, de los cuales:				
Número máximo de inversiones SMA compatibles	6			
Número máximo de contadores de energía compatibles	5			
Número máximo de inversores de energía compatibles	1			
Potencia nominal de la planta máxima de los inversores fotovoltaicos (potencia nominal de CA)	135 kVA			
Puesta en marcha centralizada de todos los equipos en el sistema	●			
Parametrización remota de equipos de SMA con Sunny Portal powered by enesOS	●			
Venta directa con SMA SPOT (Alemania)	●			
SMA Dynamic Power Control (p. ej.: inyección cero / O(U))	○			
Modelo comercial	STP 12-50	STP 15-50	STP 20-50	STP 25-50

● De serie ○ Opcional — No disponible *STC: Condiciones de prueba estándares Datos en condiciones nominales Versión: 05/2022 *) A partir de T4/2022

Accesorios



SMA Sensor Module MD.SEN-40*



SMA RS485 Module MD.485-40*



Descargador de sobretensión CC (Tipo I): DC_SPD_KIT7_TIT2 (Tipo II): DC_SPD_KIT6-10



Cubierta de la conexión de CC DCTERM-COVER

ANEXO III: INFORME PVSYS



PVsyst V7.4.7
VC1, Simulation date:
11/07/24 16:50
with V7.4.7

Project: Casa Residencial

Variant: Nueva variante de simulación

Project summary

Geographical Site Pueblonuevo del Bellaque España	Project settings Albedo 0.20
Weather data Pueblonuevo del Bellaque Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Sintético	

System summary

Grid-Connected System PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 35 / 0 °	No 3D scene defined, no shadings Near Shadings No Shadings	User's needs Unlimited load (grid)
System information PV Array		
Nb. of modules	72 units	Inverters
Pnom total	28.80 kWp	Nb. of units 2 units
		Pnom total 24.00 kWac
		Pnom ratio 1.200

Results summary

Produced Energy	49128 kWh/year	Specific production	1706 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	85.28 %
-----------------	----------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7



Project: Casa Residencial

Variant: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.7

VC1, Simulation date:
11/07/24 16:50
with V7.4.7

General parameters

Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation			
Orientation		Sheds configuration	Models used
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition Perez
Tilt/Azimuth	35 / 0 °		Diffuse Perez, Meteonorm Circumsolar separate
Horizon		Near Shadings	
Free Horizon		No Shadings	User's needs
			Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	TSM-DE15H-(II)-400	Model	Sunny Tripower STP 12-50
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	400 Wp	Unit Nom. Power	12.0 kWac
Number of PV modules	72 units	Number of Inverters	2 units
Nominal (STC)	28.80 kWp	Total power	24.0 kWac
Modules	4 string x 18 in series	Operating voltage	210-800 V
At operating cond. (50°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.20
Pmpp	26.26 kWp	Power sharing within this inverter	
U mpp	680 V	Total inverter power	
I mpp	39 A	Total power	24 kWac
Total PV power		Number of Inverters	2 units
Nominal (STC)	29 kWp	Pnom ratio	1.20
Total	72 modules		
Module area	146 m²		
Cell area	125 m²		

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Module Quality Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	291 mΩ	Loss Fraction	-0.8 %			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC					
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s							
Module mismatch losses								
Loss Fraction	2.0 % at MPP							
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Project: Casa Residencial

Variant: Nueva variante de simulación

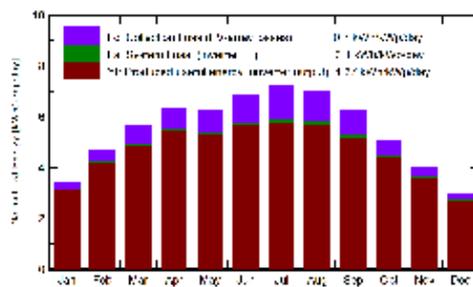
PVsyst V7.4.7
VC1, Simulation date:
11/07/24 16:50
with V7.4.7

Main results

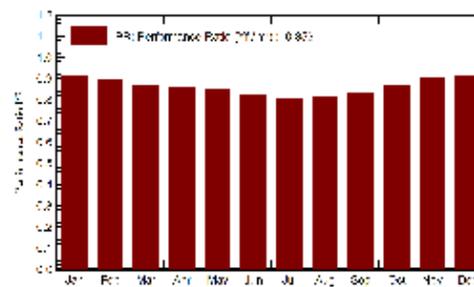
System Production
Produced Energy **49128 kWh/year**

Specific production
Perf. Ratio PR **1706 kWh/kWp/year**
85.28 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio



Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	64.7	29.02	6.06	105.7	104.1	2856	2791	0.917
February	88.7	32.38	7.84	131.4	129.7	3461	3387	0.895
March	139.8	48.44	11.33	174.6	171.2	4440	4347	0.865
April	174.5	57.97	14.19	190.4	186.2	4813	4712	0.860
May	201.6	80.85	19.31	193.8	189.0	4846	4742	0.849
June	227.5	63.98	25.00	206.8	201.4	5017	4911	0.825
July	239.6	56.83	28.82	223.3	217.8	5296	5184	0.806
August	210.3	56.40	28.21	218.3	213.4	5206	5098	0.811
September	156.4	52.15	22.48	186.9	183.0	4592	4496	0.835
October	113.1	41.37	16.89	157.1	154.7	4010	3925	0.867
November	74.0	29.61	9.83	119.7	117.9	3173	3103	0.900
December	54.2	25.00	6.58	92.2	91.0	2492	2432	0.915
Year	1744.5	573.99	16.43	2000.2	1959.3	50204	49128	0.853

Legends

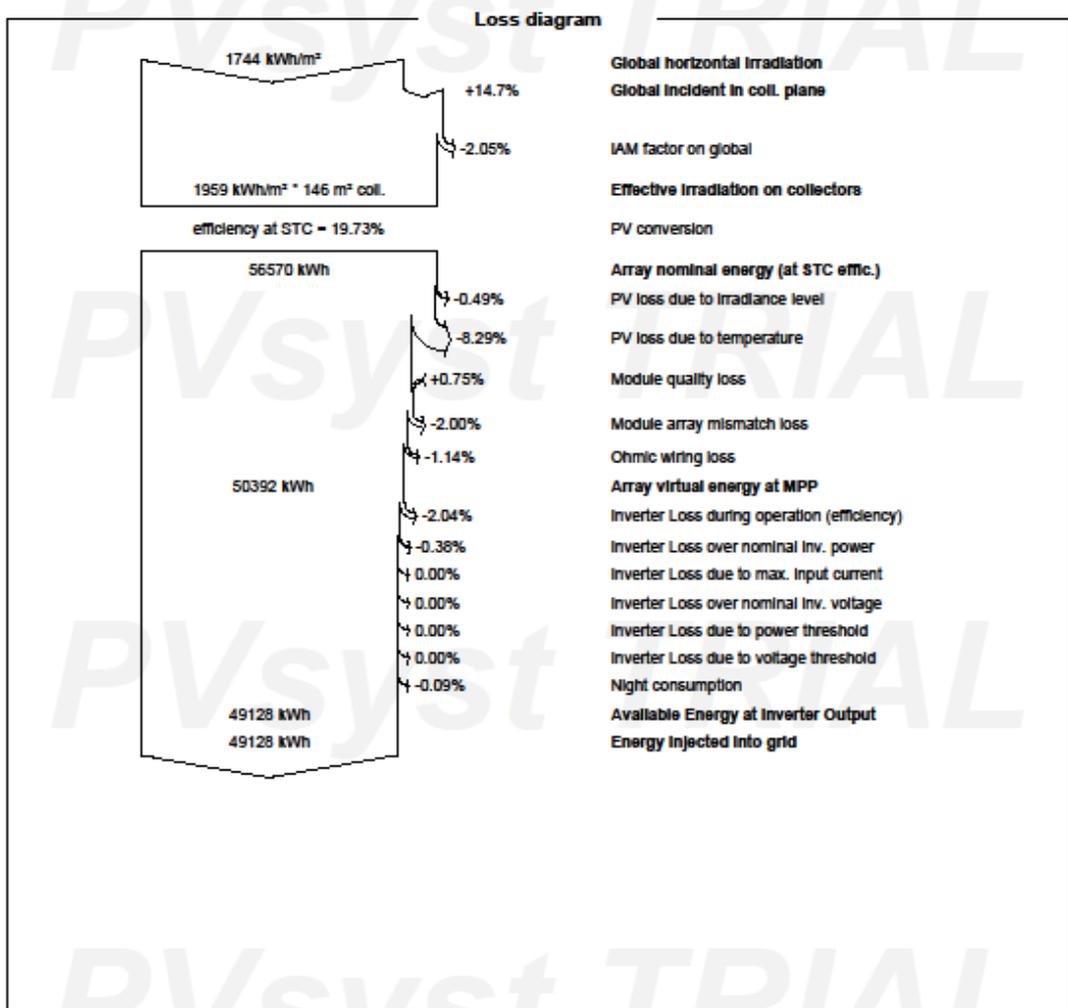
GlobHor Global horizontal irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiation
T_Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
PR Performance Ratio



PVsyst V7.4.7
VC1, Simulation date:
11/07/24 16:50
with V7.4.7

Project: Casa Residencial

Variant: Nueva variante de simulación





PVsyst V7.4.7
VC1, Simulation date:
11/07/24 16:50
with V7.4.7

Project: Casa Residencial

Variant: Nueva variante de simulación

