



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Marta Plaza Ramos

Directo: Luis Javier Mata García

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
'Eficiencia energética en un edificio de viviendas y ahorro con energías
renovables'

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021-2022 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Marta Plaza Ramos Fecha: 11/ 07/ 2022

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Luis Javier mata Fecha: 13/07/2022



Luis Javier Mata
2022.07.13
18:16:25 +02'00'



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Marta Plaza Ramos

Directo: Luis Javier Mata García

Madrid

Eficiencia energética en un edificio de viviendas y ahorro con energías renovables

Autor: Marta Plaza Ramos

Directo: Luis Javier Mata García

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

Resumen del proyecto

El proyecto consiste en el uso de energías renovables para lograr una mejor eficiencia energética en un edificio de viviendas. Mediante un análisis de los consumos del edificio, se planteó una alternativa haciendo uso de instalaciones de energía solar fotovoltaica.

Palabras clave: Paneles, electricidad, fotovoltaica, autoabastecimiento.

1. Introducción:

Debido a que la escasez de energía es un problema que genera más inquietud con el tiempo, es necesario buscar y utilizar fuentes alternativas. A esto hay que sumarle también los problemas con Ucrania y Argelia ya que han provocado que se produzca intranquilidad sobre la exportación de gas y carbón. Las energías renovables además de ser inagotables y limpias, ayudan a luchar contra el cambio climático y reducir la incertidumbre económica.

Una manera de contribuir e implantar esta clase de energías en las viviendas es mediante la instalación de paneles fotovoltaicos. Estos no solo ayudarán a reducir los costes en la factura de la luz, sino que también colaborarán en la tarea de disminuir el impacto medioambiental.

El lugar donde se lleva a cabo el proyecto es un edificio de los años 80 situado en Valladolid, en la calle Menéndez Pelayo 6. Esta instalación consta de 6 plantas con 22 viviendas en total y 3 locales comerciales.

2. Definición del proyecto:

Para la realización y puesta en marcha del sistema de placas solares, en primer lugar, se estudian los consumos del edificio. Tras esto, y teniendo en cuenta la latitud de Valladolid, se realizan los cálculos oportunos para determinar la orientación y la inclinación óptima de los módulos.

A continuación, se estudian las diferentes opciones de paneles e inversores y se selecciona la alternativa más conveniente. Una vez se conocen las características de los elementos que se utilizarán para la instalación es necesario conocer las pérdidas para calcular el coeficiente de rendimiento de las placas.

Tras obtener el rendimiento, se calcula el número de módulos necesarios para que, mediante la producción de los paneles fotovoltaicos se logre suministrar el 75% de la energía eléctrica demandada por el edificio. El paso posterior es, decidir cómo se conectarán las placas.

Por último, se estudia la viabilidad del proyecto mediante el cálculo de los principales indicadores de rentabilidad, el VAN y la TIR, además del LCOE.

3. Resultados:

Siguiendo los pasos mencionados anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados.

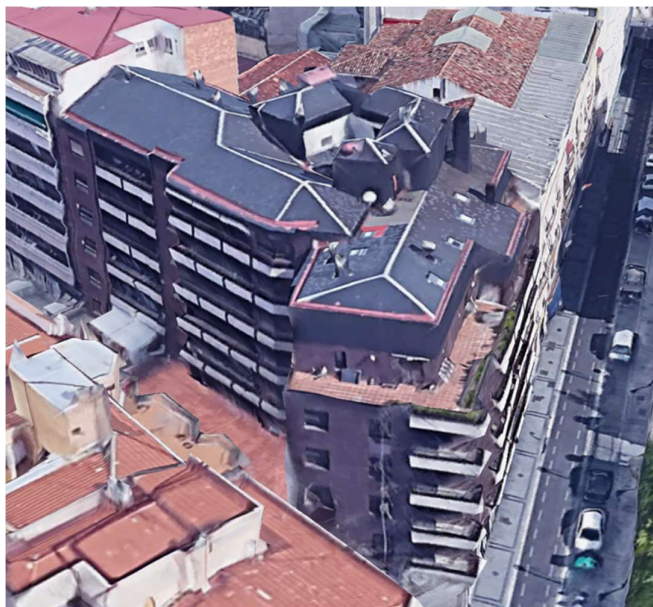


Ilustración 1: Vista del edificio

En primer lugar, se decide que los paneles tendrán **orientación sur** y que su inclinación será de unos 40° , pero dado que la inclinación del tejado del edificio es de 35° , esta será la inclinación a la que se dispondrán las placas ya que de esta forma se ahorrarán algunos costes.

El siguiente paso es la elección de los elementos. Se instalarán 78 módulos monocristalinos de 190 W de potencia nominal que se conectarán en 6 ramas en paralelo que a su vez contarán con 13 paneles por rama, junto con un inversor string de 12500 W.

A la hora del análisis económico, es necesario calcular los ingresos y pérdidas de cada año para obtener el flujo de caja. Mediante esta información, se sabe que se empezarán a generar ingresos a partir del año número 12. Además, para obtener los principales indicadores de rentabilidad, se supone una tasa de descuento del 3% anual. Se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{VAN} = 7.216,99 \text{ €}$$

$$\text{TIR} = 7,9\%$$

$$\text{LCOE} = 0,04055 \text{ €}$$

4. Conclusiones:

Observando los resultados obtenidos anteriormente del VAN y de la TIR, se puede afirmar que será rentable realizar el proyecto, y, por tanto, que la opción elegida inicialmente de instalar paneles fotovoltaicos es correcta y traerá beneficios.

Energy efficiency in a residential building and savings using renewable energies

Author: Marta Plaza Ramos

Supervisor: Luis Javier Mata García

Collaborating entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

Abstract

The project consists of the use of renewable energies to achieve better energy efficiency in a residential building. Through an analysis of the building's consumption, an alternative was proposed using photovoltaic solar energy installations.

Keywords: Panels, electricity, photovoltaic, self-sufficiency.

1. Introduction

Since energy shortage is a problem that generates more concern over time, it is necessary to look for and use alternative sources. Another key aspects to add, are the problems with Ukraine and Algeria, which have caused uneasiness about the export of gas and coal. In addition to being inexhaustible and clean, renewable energies help to combat climate change and reduce economic uncertainty.

One way to contribute and implement this kind of energy in homes is by installing photovoltaic panels. These will not only help to reduce costs in the electricity bill but will also help to reduce the environmental impact.

The place where the project is being carried out is a building from the 80's located in Valladolid, at Menéndez Pelayo 6. This facility consists of 6 floors with a total of 22 dwellings and 3 commercial premises.

2. Project definition

For the implementation and commissioning of the solar panel system, first of all, the building's consumption is studied. After this, and taking into account the latitude of Valladolid, the appropriate calculations are made to determine the optimal orientation and inclination of the modules.

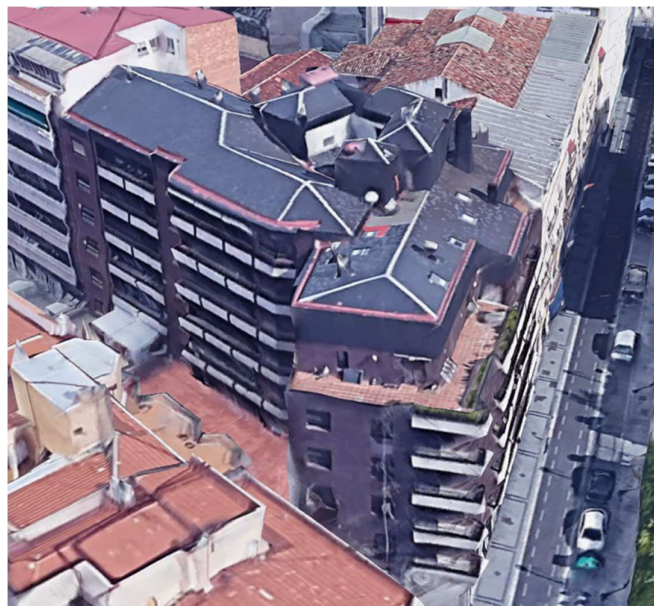
Then, the different options of panels and inverters are studied, and the most convenient alternative is selected. Once the characteristics of the elements to be used for the installation are known, it is necessary to know the losses in order to calculate the coefficient of performance of the panels.

After obtaining the efficiency, the number of modules needed is calculated so that, through the production of the photovoltaic panels, 75% of the electrical energy demanded by the building can be supplied. The next step is to decide how the panels will be connected.

Finally, the feasibility of the project is studied by calculating the main profitability indicators, NPV and IRR, as well as LCOE.

3. Results

Following the steps mentioned above, the following results were obtained.



View of the building

First, it is decided that the panels will have a south orientation and that their inclination will be about 40° , but given that the slope of the roof of the building is 35° , this will be the inclination at which the panels will be arranged as this will save some costs.

The next step is the choice of the elements. We will install 78 monocrystalline modules of 190 W nominal power that will be connected in 6 branches in parallel, which will have 13 panels per branch, along with a string inverter of 12500 W.

For the economic analysis, it is necessary to calculate the income and losses for each year to obtain the cash flow. Using this information, it is known that income will start to be generated from year 12. In addition, to obtain the main profitability indicators, a discount rate of 3% per year is assumed. The following results are obtained:

$$\text{NPV} = 7.216,99 \text{ €}$$

$$\text{IRR} = 7,9\%$$

$$\text{LCOE} = 0,04055 \text{ €}$$

4. Conclusion

By looking at the NPV and IRR results obtained above, it can be affirmed that it will be profitable to carry out the project, and, therefore, that the initially chosen option of installing photovoltaic panels is correct and will bring benefits.

Índice de la memoria

1. INTRODUCCIÓN	18
2. CONTEXTO POLÍTICO ENERGÉTICO.....	20
2.1. INVASIÓN RUSA DE UCRANIA	20
2.2. PROBLEMAS CON ARGELIA	21
2.3. MEDIDAS DEL GOBIERNO PARA FRENAR LA ESCALADA DE PRECIOS.....	22
2.4. MEDIDAS DEL GOBIERNO PARA FOMENTAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES	25
3. ESTADO DEL ARTE	26
3.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	27
3.2. ENERGÍA EÓLICA.....	28
3.3. BIOMASA.....	29
3.4. AEROTERMIA.....	30
3.5. ELECCIÓN FINAL	31
4. MOTIVACIÓN	31
5. OBJETIVOS DEL PROYECTO	32
5.1. IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES	32
5.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA	32
5.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	33
6. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	33
7. ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	34
8. NORMATIVA INSTALACIÓN PLACAS FOTOVOLTAICAS.....	48
9. CONSUMOS DEL EDIFICIO	50
10. CÁLCULOS	56
11. SELECCIÓN	60
11.1. MÓDULOS	60
11.2. INVERSOR	63
11.3. SOPORTE	66
12. CÁLCULO NÚMERO DE MÓDULOS.....	68
12.1. PÉRDIDAS	68
12.1.1 Pérdidas por incumplimiento de la potencia nominal.....	68
12.1.2. Pérdidas de conexionado de módulos.....	68
12.1.3. Pérdidas por polvo y suciedad.....	69
12.1.4. Pérdidas por orientaciones e inclinación.....	70
12.1.5. Pérdidas por temperatura.....	71
12.1.6. Pérdidas por rendimiento del inversor	73
12.1.7. Pérdidas por cableado	73
12.1.8. Pérdidas por sombreado.....	73
12.1.9. Pérdidas totales	73
13. DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS.....	77
14. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	79

14.1.	COSTE DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	80
14.2.	COSTE DE LA INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	80
14.3.	COSTE DE MANTENIMIENTO	80
14.4.	COSTE LEGALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN	81
14.5.	COSTE IMPUESTO SOBRE CONSTRUCCIONES, INSTALACIONES Y OBRAS (ICIO)	81
14.6.	COSTE RETIRADA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	81
14.7.	INGRESOS	86
14.8.	GASTOS.....	89
14.9.	VAN.....	92
14.10.	TIR	92
14.11.	LEVELIZED COST OF ENERGY	93
15.	SEGURIDAD Y SALUD.....	93
15.1	RIESGOS GENERALES	94
15.2	MEDIDAS DE PROTECCIÓN	94
16.	CONCLUSIÓN	95
17.	BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	101	
ANEXO I:	FICHA TÉCNICA DE LOS MÓDULOS.....	102
ANEXO II:	FICHA TÉCNICA INVERSOR	105
ANEXO III:	FICHA TÉCNICA SOPORTES.....	107
ANEXO III:	FICHA TÉCNICA CONTADOR BIDIRECCIONAL	108
ANEXO IV:	PLANO INSTALACIÓN PANELES FOTOVOLTAICOS	110
ANEXO V:	UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN	112
ANEXO VI:	DETALLE UBICACIÓN INVERSOR Y CUADRO GENERAL.....	113

Índice de figuras

FIGURA 1: ESTUDIO SOBRE "EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS Y AHORRO CON ENERGÍAS RENOVABLES."[3].....	19
FIGURA 2: EVOLUCIÓN DEL GAS EUROPEO EN LOS ÚLTIMOS 6 MESES (€/MWH)[7]	21
FIGURA 3: SUMINISTRO DE GAS A ESPAÑA[9].....	22
FIGURA 4: PRECIO MEDIO ELECTRICIDAD EN ESPAÑA EN 2021[11]	23
FIGURA 5: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA[13]	27
FIGURA 6: AEROGENERADORES EN VIVIENDAS[14]	29
FIGURA 7: BIOMASA[15].....	30
FIGURA 8: CIRCUITO DEL REFRIGERANTE EN LA BOMBA DE AEROTERMIA[16]	30
FIGURA 9: INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED[20]	35
FIGURA 10: INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA[21].....	35
FIGURA 11: COMPOSICIÓN PLACAS SOLARES.[23]	36
FIGURA 12: FUNCIONAMIENTO PANELES SOLARES[23].....	37
FIGURA 13: PANELES FOTOVOLTAICOS MONOCRISTALINOS.[25].....	38
FIGURA 14: PANELES FOTOVOLTAICOS POLICRISTALINOS.[25]	39
FIGURA 15: PANEL SILICIO AMORFO.[25].....	40
FIGURA 16: INVERSOR STRING[28].....	42
FIGURA 17: MICROINVERSOR[29]	43
FIGURA 18: OPTIMIZADOR DE POTENCIA[30]	44
FIGURA 19: BATERÍA MONOBLOCK[32].....	45
FIGURA 20: BATERÍA ESTACIONARIA[33]	46
FIGURA 21: REGULADOR DE CARGA PWM[35]	47
FIGURA 22: REGULADOR DE CARGA MPPT[36]	47
FIGURA 23: MEDIDOR BIDIRECCIONAL[38]	48
FIGURA 24: MAPA ESPAÑA DE LOS DIFERENTES HPS POR COMUNIDADES[44]	56
FIGURA 25: RENDIMIENTO POR ORIENTACIÓN DE PLACAS SOLARES EN ESPAÑA[45]	57
FIGURA 26: AZIMUT[47].....	58
FIGURA 27: VISTA DEL EDIFICIO. GOOGLE EARTH.....	59
FIGURA 28: EFECTO DE LA SOMBRA EN PANELES CON LOS DISTINTOS TIPOS DE INVERSORES[49]	63
FIGURA 14: DÍAS SOLEADOS, PARCIALMENTE NUBLADOS Y NUBLADOS EN LOS DIFERENTES MESES EN VALLADOLID[50]	64
FIGURA 29: PÉRDIDAS EN PLACAS SOLARES PRODUCIDAS POR POLVO Y SUCIEDAD[55]	69
FIGURA 30: PÉRDIDA POR INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DEPENDIENDO DEL ÁNGULO[56]	70

FIGURA 31: DIMENSIONES PLACAS SOLARES SELECCIONADAS[59]	76
FIGURA 32: ESQUEMA CONEXIÓN EN SERIE[61].....	77
FIGURA 33: ESQUEMA CONEXIÓN EN PARALELO[61]	78
FIGURA 34: ESQUEMA CONEXIÓN SERIE-PARALELO[61]	78
FIGURA 35: PRECIOS ELECTRICIDAD EN FUNCIÓN DE LOS AÑOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	86

Índice de tablas

TABLA 1: CONSUMO DE ENERGÍA DEL EDIFICIO 2021. ELABORACIÓN PROPIA	51
TABLA 2: CONSUMO DE POTENCIA DEL EDIFICIO 2021. ELABORACIÓN PROPIA	51
TABLA 3: PERIODOS TEMPORADA ALTA. [41]	52
TABLA 4: PERIODOS TEMPORADA MEDIA-ALTA. [41]	53
TABLA 5: PERIODOS TEMPORADA MEDIA. [41].....	54
TABLA 6: PERIODOS TEMPORADA BAJA.[41]	54
TABLA 7: PRECIOS MEDIOS POTENCIA Y ENERGÍA EN CADA PERIODO[41]	55
TABLA 8: COSTE ENERGÍA EN EL EDIFICIO. ELABORACIÓN PROPIA.....	55
TABLA 9: CARACTERÍSTICAS POSIBLES MÓDULOS. ELABORACIÓN PROPIA	62
TABLA 10: COMPARACIÓN INVERSORES[51][52]	64
TABLA 11: CARACTERÍSTICAS POSIBLES INVERSORES STRING	67
TABLA 12: TEMPERATURA POR MESES EN VALLADOLID. ELABORACIÓN PROPIA.....	75
TABLA 13: COSTE ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.....	80
TABLA 14: COSTES DE LA INSTALACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.....	83
TABLA 15: PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA	85
TABLA 16: TABLA DE INGRESOS. ELABORACIÓN PROPIA.....	88
TABLA 17: TABLA DE GASTOS. ELABORACIÓN PROPIA	91

1. Introducción

La escasez de energía es una cuestión que cada vez provoca más inquietud. Esto se debe a su creciente demanda y a su reducida disponibilidad. Esto se puede ver reflejado en el crecimiento de la población respecto al crecimiento de la demanda de energía. De 1850 a 2010, la población incremento, multiplicándose por 5,5; mientras que en el mismo periodo de tiempo, la demanda de energía aumento, multiplicándose por 50.

Al llegar la Revolución Industrial en la segunda mitad del siglo XVIII, [1]el uso de combustibles fósiles era la forma más común de generar energía. Este tipo de energías son las llamadas energías no renovables, cuyas características son que se encuentran en el medio ambiente y constan de unas reservas limitadas.

Además, conforme va disminuyendo su oferta, su extracción es más compleja, produciéndose así su encarecimiento. Algunas de las energías de este tipo son el carbón, el gas natural o el petróleo. Su uso tiene como consecuencia la contaminación del medio ambiente debido a la emisión de gases de efecto invernadero y partículas contaminantes, lo que puede llegar a afectar a la salud de población.

Por estas razones, hubo la necesidad de buscar una fuente de energía alternativa para abastecer las necesidades energéticas sin perjudicar al planeta. Es ahí cuando llegó el descubrimiento de las energías renovables, proporcionando un medio de obtención de energía limpio e inagotable.

Las grandes diferencias que suponen son que se encuentran en abundancia, se pueden aprovechar en cualquier parte del planeta, no producen emisiones contaminantes y no generan gases de efecto invernadero, los cuales son los causantes del cambio climático. Además de favorecer la creación de empleo y el desarrollo tecnológico, contribuyen a la disminución de la dependencia de recursos externos de nuestro país.

Entre este tipo de energías, se encuentran la solar, la eólica, la hidráulica, biomasa y biogás, la geotérmica, la mareomotriz, la undimotriz, el bioetanol y el biodiesel.

El uso de estas ha ido incrementando gradualmente. El empleo de las energías renovables en el suministro eléctrico era del 26% en 2018 y se prevé que en 2044 alcance un porcentaje del 44% [2]. Durante el primer mes de pandemia, marzo de 2020, se alcanzó en España el dato más alto de energías renovables usado para generar electricidad, con un 78,8%.

En la *Figura 1*, se puede observar el estudio que se realizó sobre como implementar un sistema global de energía basado en 100% de energías renovables con el paso del tiempo. En este análisis, se demostró cómo es posible una transición hacia un sistema en el que la electricidad, el transporte y la calefacción sean abastecidos principalmente

por energía solar, seguido por energía eólica, además de biomasa, agua y otros tipos de energía para el año 2050.

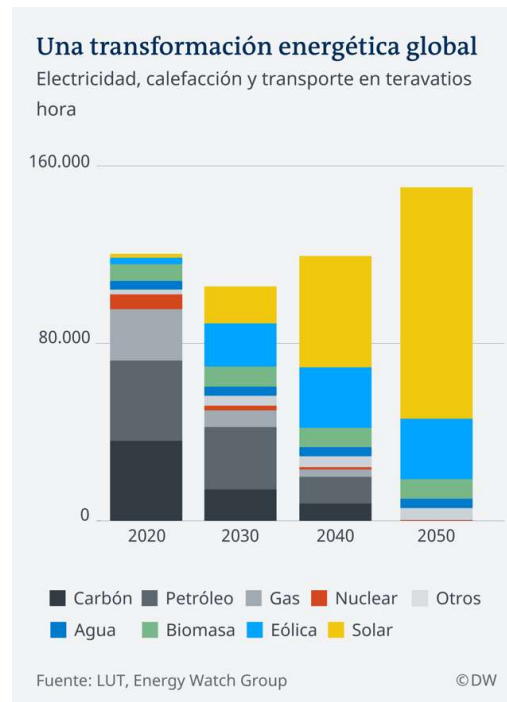


Figura 1: Estudio sobre "Eficiencia Energética en un edificio de viviendas y ahorro con energías renovables." [3]

Actualmente, este tipo de energías se pueden implantar en las viviendas de diferentes formas. Mediante la instalación de paneles fotovoltaicos, se puede hacer uso de la energía solar fotovoltaica para generar electricidad. Un estudio demostró que solamente un 1,8% [4] de las viviendas unifamiliares tienen instaladas placas solares. También se puede emplear la energía solar térmica para la obtención de agua caliente, calefacción o energía mecánica. Otra energía que puede tener un uso doméstico es la eólica, cuyo aprovechamiento se realiza mediante la instalación de aerogeneradores domésticos. La instalación de calderas de biomasa es otra alternativa para generar calor, mediante la combustión de pellets, residuos forestales, madera y otros materiales orgánicos. Por último, haciendo uso de la tecnología de la aerotermia, se logrará la climatización de edificios mediante bombas de calor.

2. Contexto político energético

Para entender por qué es necesario el cambio hacia las energías renovables, se debe conocer la situación mundial actual.

2.1. Invasión rusa de Ucrania

La invasión rusa de Ucrania es un conflicto bélico que comenzó el 24 de febrero de 2022 y que actualmente sigue en curso. Es el mayor ataque en Europa desde las guerras yugoslavas y está provocando la mayor crisis de refugiados desde la Segunda Guerra Mundial, con millones de personas abandonando el país, además de un gran número de muertes[5].

Una de las causas de esta invasión fue la concentración militar rusa a las afueras de Ucrania en 2021. Durante esta etapa, el presidente ruso Vladimir Putin, criticó la ampliación de la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) posterior a 1997 y los funcionarios rusos negaron desde noviembre del 2021 hasta febrero 2022, que Rusia tuviera la idea de invadir Ucrania. Sin embargo, el 21 de febrero de 2022, Rusia reconoció a dos estados autoproclamados en Dombás, República Popular de Donetsk y República Popular de Lugansk, y envió tropas a estos territorios. EL 22 de febrero, el Consejo de Federación de Rusia autorizó a Putin para emplear la fuerza militar fuera de Rusia.

El 24 de febrero, se produjeron los primeros impactos de misiles en Ucrania, como parte de una operación militar anunciada por Putin. A lo largo del día, las fuerzas terrestres entraron en el país iniciando así una serie de ofensivas que más tarde se concentraría en el Este del País.

El 19 de abril, dio comienzo la retirada rusa en la ofensiva de Ucrania central y dio comienzo la batalla de Dombás.

Actualmente siguen las negociaciones de paz entre Rusia y Ucrania.

Las consecuencias que ha provocado este conflicto han agravado la crisis energética de Europa. Desde hace un año, el precio del petróleo, el gas y los derechos de emisión de dióxido de carbono, han ido incrementando de forma exponencial. Esto supuso una mayor dificultad a la hora de la recuperación económica del país tras la pandemia[6].

Estados Unidos anunció que no importaría combustibles de Rusia, pero Europa no se puede permitir el cese de importación de gas y petróleo por parte de Rusia puesto que no habría suficiente oferta para cubrir la totalidad de la demanda.

En referencia al gas, Rusia suministra al 100% la demanda de Estonia, Finlandia, Moldavia y Bulgaria entre otros países, además del 80% de la de Austria o el 50% de la demanda de gas a Alemania.

No solo afecta al gas, sino también al petróleo, puesto que Rusia es el tercer mayor productor de petróleo del mundo. Según el último informe del BP Statistical Review of World Energy, Europa compró a Rusia 138,2 toneladas de petróleo en 2020, lo que supone el 53% de las exportaciones de Rusia.

En la *Figura 2* se puede observar cómo han variado los precios del gas en Europa en los últimos 6 meses.

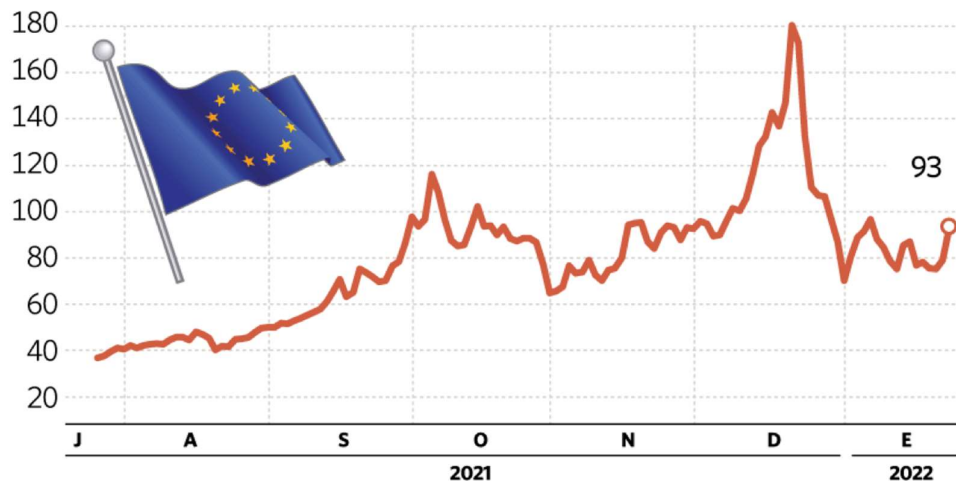


Figura 2: Evolución del gas europeo en los últimos 6 meses (€/MWh)[7]

Todo esto ha supuesto que el precio del combustible y la energía haya alcanzado máximos históricos.

2.2. Problemas con Argelia

El conflicto entre Marruecos y Argelia empezó hace unos años. Su relación se ha ido deteriorando hasta haber alcanzado la ruptura de relaciones diplomáticas en la actualidad. Las razones de esta situación se basan en el conflicto del Sahara Occidental. Desde que España abandonó el territorio en 1975, Marruecos lo está reclamando mientras que Argelia ha venido apoyando al Frente Polisario de Liberación Saharaui. A raíz de esto, Marruecos ha defendido a la ONU la autodeterminación del pueblo cabileno argelino, enfrentado con Argel. [8]

La relación ha ido empeorando debido a dos hechos principalmente. El primero, el cierre del espacio aéreo por parte de Argelia a Marruecos en septiembre de 2021. El segundo ha sido el cierre del gasoducto en octubre de 2021 entre Magreb y Europa, cuyo conducto pasa de Argelia a Marruecos para llegar a Tarifa.

Las consecuencias que este conflicto ha tenido en España se ven reflejadas en el suministro y el precio del gas. Esto se debe a que Argelia es el segundo socio comercial en África de España. De las exportaciones totales de Argelia, España supone el 9,8% del total de ellas, mientras que, de las importaciones argelinas, España supone un 6,2% del total.

En relación con el gas, en 2021 el 91,7% de las exportaciones totales a España, fueron de combustible. Y el 30% del gas importado a España procedía de Argelia. Es por eso que esta disputa ha provocado la subida del precio de la luz en España.

En la Figura 3, se pueden ver los proveedores de gas de España, viendo como el suministro ofrecido por Argelia va disminuyendo.

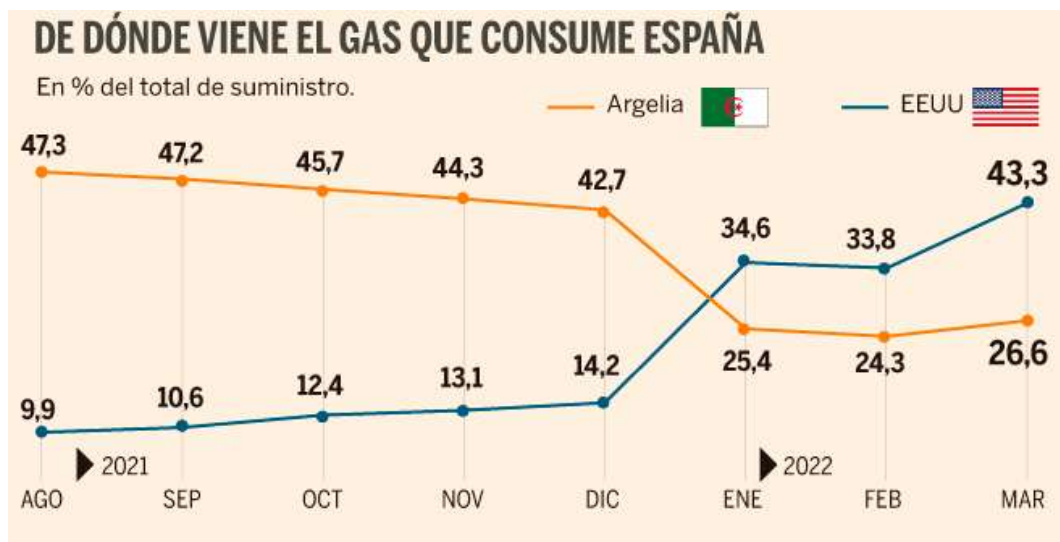


Figura 3: Suministro de gas a España[9]

2.3. Medidas del gobierno para frenar la escalada de precios

Debido a las causas mencionadas anteriormente, el precio de la luz ha incrementado significativamente provocando un gran descontento entre los ciudadanos, por lo que el

gobierno se ha propuesto establecer una serie de medidas para frenar esta inflación.[10]
En la *Figura 4* se puede observar la evolución del precio de la luz del año 2021. Se puede ver como en diciembre se alcanzó un nuevo máximo histórico.

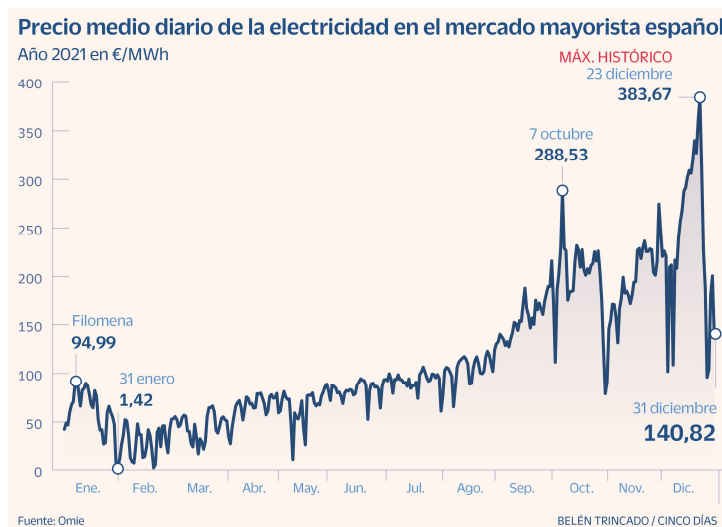


Figura 4: Precio medio electricidad en España en 2021[11]

Reducción de los cargos

Esta, es la medida más importante que se ha impuesto aprobada el 14 de septiembre de 2021. Debido al aumento del precio del gas, se disminuirán los ingresos extraordinarios de las compañías eléctricas producidos por este encarecimiento. Esto implicó una reducción en la factura de la luz tanto en la energía consumida como en la potencia eléctrica.

En la factura de la luz, existe una sección llamada cargos, que son los precios regulados destinados a cubrir costes como la financiación de renovables, el sobrecoste de producción de energía en los territorios no peninsulares o las anualidades del déficit.

Gracias a la medida aprobada en septiembre, los cargos en la factura de la luz se vieron reducidos un 96%, lo que supuso una reducción considerable en la cantidad a pagar.

Durante 2022, esta reducción varió entre un 30% y un 96%, pero tras la guerra ucraniana, este descuento se fijó en un 55%.

Extensión de la rebaja en los impuestos

Se redujeron los impuestos de IVA del 21% al 10% y los impuestos eléctricos del 5% al 0,5%. Además, se impuso la suspensión del 7% a la generación de energía eléctrica. Estos recortes se aplicarán hasta el 30 de junio de 2022.

Aumento del descuento en el bono social eléctrico

A los consumidores que cumplan con los requisitos mínimos necesarios para obtener el Bono Social, se les aplicará a los clientes vulnerables, en vez del 25% de descuento, un 60% de descuento; y a los clientes severos, obtendrán un descuento de un 70% en lugar de un 40%. Estas medidas también serán vigentes hasta el 30 de junio de 2022.

Aumento del descuento en el bon social térmico

Los clientes que sean beneficiarios den Bono Social térmico, tendrán una ayuda mínima de 35€, en lugar de los 25€ que se aplicaban anteriormente. Esta nueva medida será vigente hasta el 30 de junio de 2022.

Mayor transparencia en el mercado energético

Las empresas de gas y electricidad tendrán nuevas obligaciones con el objetivo de que haya una mejor transparencia y se mejore la capacidad de supervisión del mercado. La nueva medida establece la previa comunicación por parte de las empresas generadores y comercializadoras de energía hacia el consumidor de cualquier modificación en el contrato y dar detalle de los cambios anunciados en la factura.

Prórroga del escudo social

Hasta el 30 de junio de 2022, se prohíbe el corte de suministro eléctrico a consumidores vulnerables por impago en situaciones de pobreza energética. Esta medida se impuso como instrumento de protección social, para lograr garantizar un a los clientes una situación de confort mínima.

Límite del precio del gas en el pool

Otra de las medidas para frenar la subida del coste de la factura de la luz es desacoplar el precio del gas del precio final de la electricidad, estableciendo un

precio máximo del gas, siendo este de 50 euros megavatio/hora. Gracias a esto, se conseguirá reducir hasta un 20% la factura de la luz en el caso de los consumidores del mercado regulado doméstico y hasta un 19% a los industriales. Esta nueva medida entrará en vigor el 15 de junio y podrá estar vigente hasta el 31 de mayo de 2023.

Otras medidas

Algunas de las otras medidas que también se han aprobado fueron el aumento de la aportación destinada a la recaudación de las subastas de CO₂ para cubrir costes eléctricos; la reducción temporal del exceso de retribución adquirido por las centrales de generación eléctrica no emisoras en el mercado mayorista; la rebaja de los peajes a la industria electrointensiva; la subasta de contratos de compra de energía con el fin de aumentar la liquidez de los mercados; la limitación de la subida del precio de la Tarifa de Último Recurso.

2.4. Medidas del gobierno para fomentar el uso de energías renovables

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima prevé que el uso en España de las energías renovables llegue a alcanzar en 2030 el 74% de la energía eléctrica total demandada y el 42% de la energía total requerida. Para ello, se establecieron una serie de reformas y se llevaron a cabo unas inversiones determinadas[12].

Reformas

C7.R1:

Se aprobó un marco normativo para impulsar la generación de energías renovables que a su vez generara certidumbre y permite aumentar el uso de las energías renovables fomentando las inversiones privadas, mejorando la integración de estas en el entorno y eliminando cualquier posible barrera que impida el uso de estas.

C7.R2:

Además, se aprobó una Estrategia Nacional de Autoconsumo, para fomentar la generación de energías renovables y lograr los objetivos nombrados anteriormente para el 2030.

C7.R3:

Se fomentará la instalación de comunidades energéticas para que los ciudadanos contribuyan a la transición energética planteada por el gobierno. Además, se apoyará cualquier participación e impulso que hagan posible esta transición.

C7.R4:

A su vez, se aprobó un marco para la innovación y el desarrollo tecnológico de las energías renovables, puesto que hay casos en los que es necesario que haya medidas que faciliten el desarrollo tecnológico o permitan el máximo aprovechamiento de las oportunidades para lograr a que la totalidad de la demanda energética sea cubierta por energías renovables.

Inversiones

C7.I1:

Una de las inversiones que se realizaron fue para lograr el desarrollo de energías renovables innovadoras y su integración en viviendas y edificios, así como en empresas e industrias. Otro de los objetivos que ya se está llevando a cabo, es lograr la incorporación de estas energías a los procesos industriales.

C7.I2:

Mediante esta inversión, se pretende lograr que la energía en las islas sea sostenible, a través del apoyo de proyectos de penetración e integración de esta clase de energías por medio del impulso de una Agenda para la Transición Energética en las Islas.

3. Estado del arte

Como se menciona anteriormente, hay varias prácticas que se pueden implementar para hacer uso de las energías renovables en las viviendas.

3.1. Energía solar fotovoltaica

Desde hace unos años, el precio de la electricidad ha ido elevándose, lo que produce un impacto en las facturas de los consumidores. La razón de este fenómeno principalmente es el encarecimiento del petróleo y del gas natural. Esto tiene un efecto tanto en los clientes como en las compañías de luz, dado que no pueden ofrecer precios fijos a los usuarios que desean contratar el servicio puesto que no les saldría rentable.

Una de las posibles soluciones al problema citado anteriormente, es la instalación de placas fotovoltaicas en las viviendas. Estas ayudarán a reducir los gastos en electricidad además de disminuir la contaminación del medio ambiente.

Los paneles solares son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía del sol y la convierten en electricidad. Se comportan similar a una batería, separando los electrones de tal forma que se crea una capa con carga positiva y otra con carga negativa en la placa solar. Esta diferencia de potenciales producida por esta separación es la que hace que se genere una corriente eléctrica.

Para saber si la instalación de placas fotovoltaicas en una vivienda será rentable, se deberán realizar unos cálculos. Y aunque en un principio pueda parecer que no va a haber beneficio, dado que el precio de los paneles solares es elevado, esa inversión se recuperará pronto al reducir el consumo eléctrico dado que afectará en un ahorro de hasta un 60% en la factura mensual de la luz.

Otras de las ventajas que tiene la instalación de celdas fotovoltaicas es su bajo mantenimiento y su larga durabilidad además de la posibilidad de venta en caso de producir un exceso de energía.

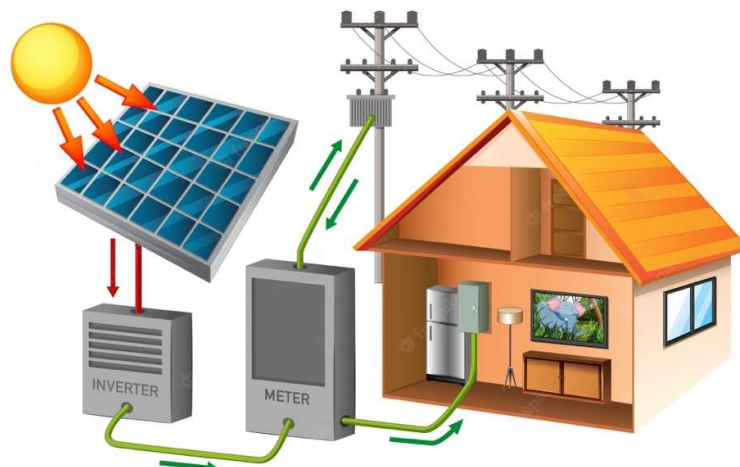


Figura 5: Energía solar fotovoltaica[13]

3.2. Energía eólica

Mediante la instalación de aerogeneradores en la vivienda, se puede lograr la independencia total de la red eléctrica. Estos son sistemas que transforman la energía del viento generada por las corrientes de aire y la transforma en energía mecánica mediante el movimiento de sus palas, colocadas de forma que se pueda captar una gran parte de este. Estas palas harán que se active la palanca del generador, obteniendo de esta forma una energía respetuosa con el medio ambiente y natural.

Este método de obtención de energía es cada vez más común debido a su gran rentabilidad en comparación con otras fuentes de energías renovables. En la actualidad hay alrededor de unas 10.000 viviendas con aerogeneradores, pero se prevé que esta cifra vaya incrementando.

Para su colocación es necesario contar con un amplio espacio en el que situar toda la maquinaria necesaria además de una localización favorable en la que haya una cantidad

considerable de viento. También se debe tener en cuenta el ruido que se genera, que puede llegar a afectar al sueño y al bienestar de los habitantes. Por estas razones, las zonas más comunes para situar aerogeneradores son zonas rurales donde dado que se encuentran muy aislados.

La instalación de aerogeneradores podrá llegar a reducir entre un 50% y un 90% los gastos en la factura de la luz de una vivienda, pero siempre teniendo en cuenta que su coste oscila entre los 1000€ y los 3000€. En un lugar con un nivel alto de viento, el tiempo para recuperar la inversión será de aproximadamente 10 años.

Algunas de las ventajas que presentan son que no necesita de grandes mantenimientos y que la energía generada se aprovechará prácticamente en su totalidad.



Figura 6: Aerogeneradores en viviendas[14]

3.3. Biomasa

El uso de la biomasa como calefacción en el hogar es una alternativa al uso de la calefacción convencional que introduce el uso de las energías renovables en la vivienda.

Su funcionamiento se basa en la combustión de sustancias orgánicas, normalmente cáscaras de frutos secos o huesos de aceitunas, mediante la cual se genera energía. El calor que se genera mediante la combustión es transmitido al circuito de agua que se encuentra en el intercambiador localizado en la caldera, con lo que se extrae el agua caliente que irá por el sistema de calefacción para calentar el edificio.

Una de las principales ventajas con las que cuenta este tipo de climatización de un edificio es que no contamina. A pesar de que genera emisiones de CO₂, estas son neutras, lo que hace que se ayude a reducir el cambio climático. Además, se reciclan los residuos orgánicos generados por actividades como la pesca, la agricultura o la silvicultura, y las cenizas producidas por la combustión de estas sustancias, se podrán utilizar como abono, ayudando así a eliminar todos los desechos que se producen mediante estas labores.

Pero también hay que tener en cuenta los inconvenientes que trae. Entre ellos la carga manual del combustible a usar, a diferencia del gas o los sistemas eléctricos, lo que suele marcar la diferencia a la hora de tomar la decisión de instalar un sistema u otro. Y aunque la biomasa tiene emisiones de CO₂ neutras, su combustión en la caldera si que tiene y puedo llegar a expulsar sustancias tóxicas.

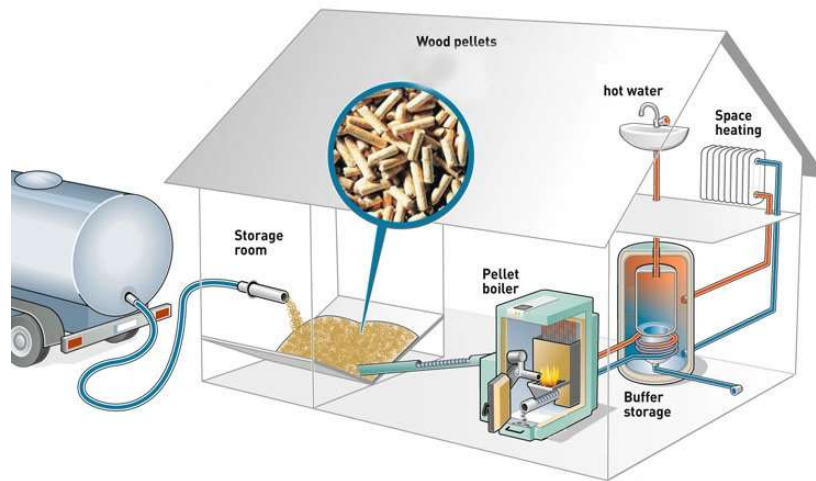


Figura 7: Biomasa[15]

3.4. Aerothermia

La aerothermia es un tipo de obtención de energía para obtener agua caliente o aclimatar una vivienda mediante un sistema formado por bombas de calor. Dentro de esta bomba fluye un refrigerante a través de un recorrido formado por un condensador, una válvula de expansión, un compresor y un evaporador, tal y como se muestra en la Figura 8.

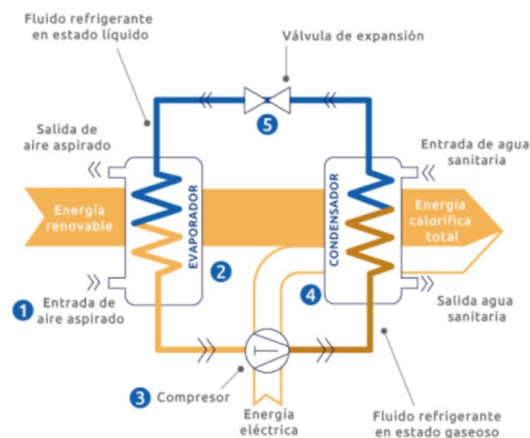


Figura 8: Circuito del refrigerante en la bomba de aerothermia[16]

Una de las mayores ventajas que ofrece es su seguridad. No hay riesgos de que se produzca una fuga ni una explosión dado que no se genera combustión. Además, es probablemente el sistema de calefacción más eficiente debido a que es el que menos consume. Haciendo uso de la aerotermia se podrá lograr hasta un ahorro del 25% en comparación a la calefacción por gas, y a pesar de que su instalación es una de las más caras, se verá compensada por el ahorro en un corto periodo de tiempo.

Pero también habría que tener en cuenta que para su mejor eficiencia sería conveniente la instalación de suelo radiante junto con el sistema de aerotermia, resultando en un coste bastante elevado. Tampoco ofrecerá muchas ventajas en lugares donde las temperaturas se encuentren por debajo de los cero grados, dado que el rendimiento se vería afectado debido al mayor porcentaje de consumición de energía eléctrica.

3.5. Elección final

Tras el estudio de las diferentes alternativas para emplear las energías renovables a un edificio de viviendas, la mejor opción es la energía solar fotovoltaica. Debido a que se trata de un edificio en el centro de Valladolid, se descarta la energía eólica debido a que no se dispone del espacio necesario para la instalación del sistema. También se descarta la biomasa debido a la falta del combustible necesario y finalmente tampoco se llevará a cabo el sistema de aerotermia dado su elevado coste.

4. Motivación

Tras el estudio de diferentes alternativas para lograr una mejor eficiencia energética en el edificio, se pueden analizar las ventajas que ofrece la instalación de células fotovoltaicas.

En primer lugar, es una fuente de energía inagotable, a diferencia de otros tipos de energía, como el petróleo o el carbón. Esto implica que, ante un exceso de demanda, no existe la preocupación de si se logrará suministrar toda la energía requerida. Es necesario empezar a realizar la transición al uso exclusivo de energías renovables dado que en las próximas décadas estos recursos se agotarán.

Además de ser una fuente de energía ilimitada, no produce emisiones de efecto invernadero ni otras sustancias tóxicas lo que contribuye a frenar el cambio climático disminuyendo la contaminación del aire, el agua y la tierra.

Otra motivación por la que se debería llevar a cabo el proyecto es el ahorro en la factura de la electricidad. Aunque inicialmente la adquisición e instalación de los paneles fotovoltaicos sea una gran inversión, debido al rápido incremento del precio de la luz en

España, se empezará a obtener un beneficio a medio plazo o incluso antes si la inflación continua. Otro factor a tener en cuenta es la vida útil de estos dispositivos, que ronda entre los 30 y los 35 años, con una eficiencia del 80% durante los primeros 25 años.

Si además de lograr autoabastecerse, se produce un exceso de energía, se puede obtener una compensación en la factura por los excedentes generados; o se puede vender la energía sobrante al mercado eléctrico generando beneficios.

5. Objetivos del proyecto

5.1. Implementación de energías renovables

Se estudiarán los consumos eléctricos de usos comunes del edificio situado en Menéndez Pelayo 6 localizado en Valladolid. Este complejo consta de 6 plantas en las que se encuentran 22 viviendas y 3 locales comerciales. Para llevar a cabo el proyecto, habrá que tener en cuenta la radiación solar aprovechable, así como la energía solar disponible. Tras esto se harán los cálculos oportunos para decidir el número de paneles solares necesarios para lograr que el 75% de la energía eléctrica requerida, sea generada suministrada por placas fotovoltaicas. Además, habrá que tener en cuenta tanto la orientación como la inclinación de los paneles para lograr el mejor rendimiento posible.

Mediante esta instalación se logrará un ahorro en la factura de la electricidad de hasta un 70% junto con un ahorro en los impuestos debido al fomento por parte del gobierno por la instauración de sistemas solares. Asimismo, se conseguirá una mejor estabilidad debido a que los incrementos en el precio de la electricidad por parte de los proveedores no tendrán un efecto sobre los propietarios que consten de paneles en sus hogares. Y a pesar del alto coste inicial que supondrán, debido a la constante subida del precio de la luz, su amortización se hará en pocos años.

5.2. Eficiencia energética

Otro de los principales objetivos es lograr una mejor eficiencia energética del edificio. Esto supone optimizar el consumo energético mediante, en este caso, paneles fotovoltaicos, y de esta forma lograr ahorrar energía y reducir las pérdidas lo máximo posible.

Para medir la eficiencia energética de una vivienda hay que recurrir a la Norma ISO 50001 [17]. Se considerarán varios parámetros que hagan referencia a la cantidad de energía consumida durante un determinado periodo de tiempo. Tras esto se tendrá en

cuenta la intensidad energética y la relación inversamente proporcional entre esta última y la eficiencia energética.

5.3. Impacto medioambiental

Los efectos que las placas solares tienen sobre el medio ambiente son principalmente positivos. En primer lugar, no contribuyen a la aparición del efecto invernadero debido a que no se desprende CO₂ que es una de las principales sustancias causantes de este fenómeno. Además, para la fabricación de las células fotovoltaicas se utiliza principalmente silicio, material que se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza y cuya extracción no provoca efectos en el terreno []. Con su instalación se lograría reducir el número de tendidos eléctricos dispuestos en áreas ricas en biodiversidad y se esta forma favorecer a la fauna, principalmente a las aves. Por último, no se genera ningún residuo contaminante que pueda afectar a la corteza terrestre por lo que podemos concluir que favorecen a la lucha contra el cambio climático.

6. Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible

A la hora de buscar mejoras, es importante tener en cuenta no solo la eficiencia que se logrará con los avances y el dinero que se obtendrá como beneficio, sino también el impacto que estos cambios tendrán en la sociedad y el medio ambiente.

Mediante la instalación de placas fotovoltaicas en un edificio de viviendas, se lograrán los objetivos relacionados con el **Objetivo 7** (Energía asequible y no contaminante). Mediante el uso de energías renovables, se consiguen disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre 2005 y 2016, el uso de energías renovables incrementó en un 42%, lo que tuvo como consecuencia una disminución del 3,3% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto muestra que el objetivo que se propone de aumentar la proporción de energías renovables considerablemente para el año 2030 puede ser posible.

Si se tiene en cuenta que las ciudades contribuyen al 70% de las emisiones totales de CO₂ del mundo, disminuir este porcentaje mediante mejoras como las planteadas anteriormente, hará que se logren los objetivos que se alinean con el **Objetivo 11** (Ciudades y comunidades sostenibles), en particular, en reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades para 2030.

Además, al reducir estas emisiones, se contribuirá también a lograr el **Objetivo 13** (Acción por el clima) que tiene como finalidad adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos. En 2019 se alcanzó la mayor cifra del nivel de dióxido de carbono en la atmósfera, y mediante el uso de placas solares en las viviendas, se podrá ayudar a reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 85%. De esta manera se podrá llegar a conseguir una de las metas de este objetivo, incorporando medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.

7. Elementos de la instalación

En primer lugar, cabe destacar los dos diferentes tipos de instalaciones fotovoltaicas debido a que ambas constan con elementos en común pero también con otros que no se encuentran en las dos clases de instalaciones[18].

Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red

Esta clase de instalaciones funcionan como centrales de producción de electricidad que se encuentran conectadas a la red interior a un suministro. La característica principal de estos sistemas es que la energía demandada por la vivienda no se puede cubrir en su totalidad por la generación de energía eléctrica producida por las placas solares por lo que la energía restante a cubrir se obtiene de la red eléctrica[19]. El rango de potencia en el que suele encontrarse esta clase de instalaciones es entre 1,5kW y 100kW y se suelen disponer en tejados de viviendas, plantas de producción o almacenes. En la *Figura 9* se pueden observar los diferentes componentes:

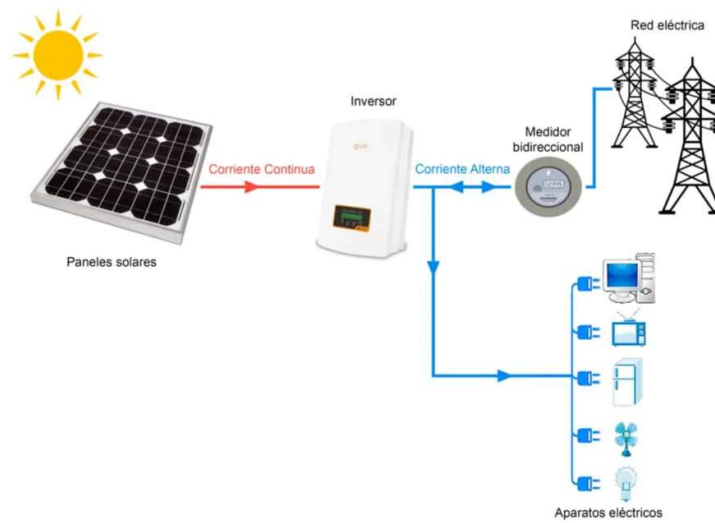


Figura 9: Instalación solar fotovoltaica conectada a la red[20]

Instalaciones solares fotovoltaicas aisladas

Este otro tipo de instalaciones solares, no se encuentra conectada a la red eléctrica de distribución. Esto implica que, a diferencia de los sistemas nombrados anteriormente, la energía eléctrica producida por las placas fotovoltaicas sí que es suficiente para cubrir toda la demanda de ese edificio. Los principales lugares donde se suele hacer uso de este tipo de instalaciones son viviendas unifamiliares que se encuentran en áreas rurales aisladas, en explotaciones ganaderas y agrícolas o en el sector de la telecomunicación, como radio o telefonía.[21] En la *Figura 10* se pueden observar los diferentes componentes:

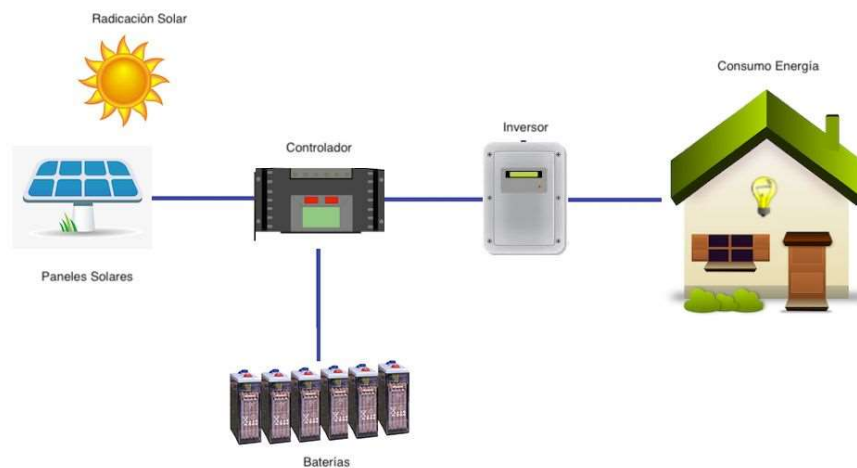


Figura 10: Instalación solar fotovoltaica aislada[21]

A continuación, se detallan las características y tipos de todos los elementos, comunes y no comunes, de ambas instalaciones.

Paneles fotovoltaicos

Principio de funcionamiento

La principal función de los paneles fotovoltaicos es convertir la energía solar en energía aprovechable.[22] Estas, son estructuras rectangulares formadas por aproximadamente 60 células de alrededor de unos 10 centímetros cuadrados. Estas células se fabrican con varios materiales, como silicio cristalino y arseniuro de galio, y se recubren con etileno y acetato de vinilo, polímero de gran resistencia a altas temperaturas y condiciones extremas, y que además impide que los rayos ultravioletas pasen, los cuales son perjudiciales para la piel. Los diferentes elementos y capas que constituyen estos paneles se pueden apreciar en la *Figura 11*.

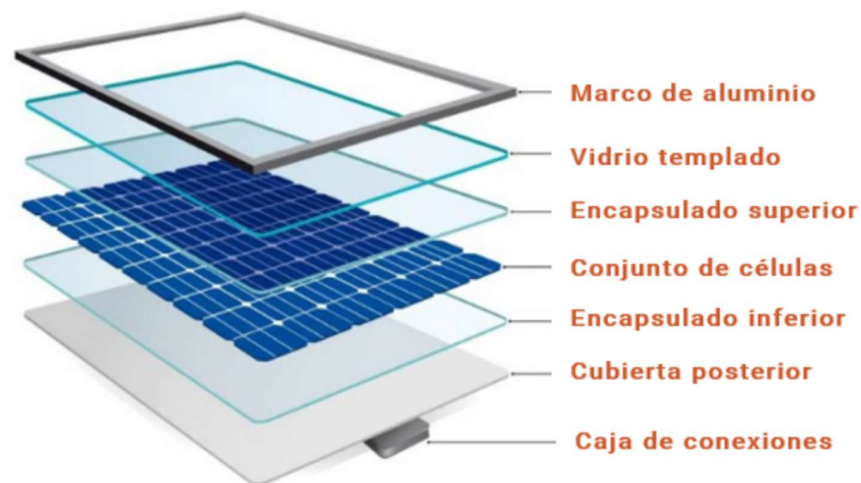


Figura 11: Composición placas solares.[23]

Su funcionamiento consiste en la separación de los electrones negativos y positivos. Al producirse la exposición de estas celdas al sol, los fotones mueven los electrones de la parte donde sobra carga negativa hacia la zona en la que falta. A medida que los fotones liberan electrones, se va generando cada vez más electricidad. Los electrones que no se aprovecha vuelven al panel negativo y vuelve a realizar todo el proceso [24].

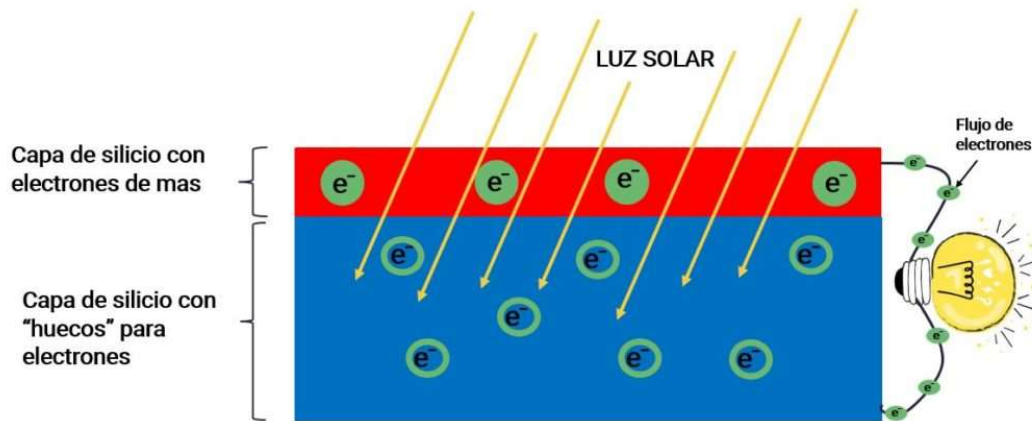


Figura 12: Funcionamiento paneles solares[23]

Tras esto y dado que la corriente que se obtiene mediante los paneles solares es continua es necesaria además la instalación de un inversor de voltaje para transformar la corriente continua en alterna y de esta forma poder utilizarla en las viviendas.

Los inversores de voltaje son los encargados de cambiar de dirección la corriente de manera constante y suave, convirtiéndola así en corriente alterna.

Tipos de paneles fotovoltaicos

Dependiendo del tipo de silicio del que estén compuestas las placas solares, las células se pueden clasificar en tres diferentes categorías[25]:

- **Monocristalinas:**

Son aquellos paneles formados por células monocristalinas. Su fabricación se lleva a cabo mediante la partición de un lingote de silicio en obleas y su posterior metalización para de esta manera lograr la mayor pureza posible. La principal ventaja que tienen es que son los que constan de la mejor eficiencia y rendimiento en comparación con el resto de las clases. Su rentabilidad es mayor a medio o largo plazo debido a la gran inversión inicial.



Figura 13: Paneles fotovoltaicos monocristalinos.[25]

- **Policristalinas:**

Este tipo de paneles, están formados por células policristalinas. Para fabricar este tipo de placas se funde el silicio y se vierte en moldes lo que hace que se formen pequeños cristales de silicio. Al realizarse este proceso, se producen impurezas que hace que el rendimiento y eficiencia de las células policristalinas sea menor en comparación con las monocristalinas. Por esta razón, son menos costosas también, y por ello, a la hora de llevar a cabo el proyecto es necesario tener en cuenta si se quiere una rentabilidad a corto o a largo plazo para decidir qué tipo de panel se desea instalar.

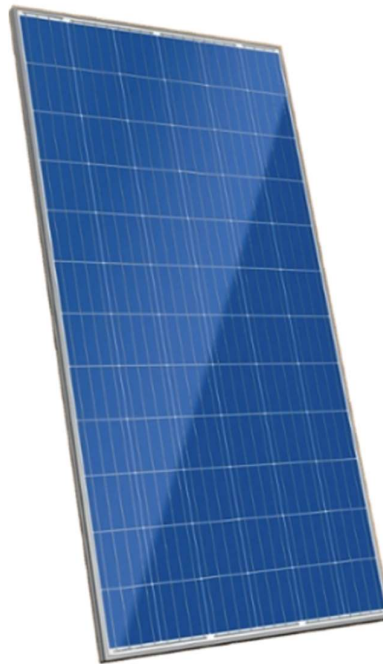


Figura 14: Paneles fotovoltaicos policristalinos.[25]

- **Amorfas o de capa fina:**

Para su fabricación, no se unen varias células como en los casos anteriores, sino que se lamina el silicio a medida y se unen las diferentes partes mediante un módulo. Dada la mala calidad del silicio que se utiliza para la manufactura de este tipo de paneles, su eficiencia es significativamente menor que en los otros dos casos debido a la dificultad de recolectar los fotones generados. A pesar de esto, es la opción más conveniente para interiores y espacio con polvo. Las principales ventajas que tienen son que su proceso de fabricación es sencillo y de fácil automatización, se necesita poco material activo por lo que se disminuye el gasto energético y el coste, y su facilidad para la realización de módulos flexibles además de una gran eficiencia cuántica en un amplio rango del espectro.



Figura 15: Panel silicio amorfo.[25]

Otra manera de clasificar las células es por su eficiencia:

Alta eficiencia:

En esta categoría, solo se encuentran los paneles monocristalinos, que alcanzan una eficiencia energética superior al 20%. La ventaja más importante es la posibilidad de instalar placas de una gran potencia en un espacio reducido, lo que es útil si las dimensiones del tejado de la vivienda son limitadas.

Eficiencia baja-alta:

En esta categoría se encuentran los paneles solares con una eficiencia energética menor al 20%. Al ser menos eficientes, son menos costosos, pero habría que tener en cuenta que serían necesarios un mayor número de paneles debida a su baja potencia y esto podría ser un inconveniente en el caso de lo tener un tejado de gran extensión.

Inversor

Como ya se ha mencionado previamente, es necesario un inversor que convierta la corriente continua en alterna. Este elemento es fundamental y se puede conectar a red o se puede dejar como una instalación aislada.

Funciones:

El inversor es una de las partes claves dentro de una instalación de paneles fotovoltaicos. En primer lugar, protege la instalación, de modo que, si hay un cortocircuito u otro problema, se detiene la generación de energía. Además, son útiles para optimizar la producción de electricidad, puesto que adaptan su producción a las diferentes situaciones solares o diferentes necesidades de energía. Para un correcto funcionamiento del sistema, es necesario que haya sincronización con la red eléctrica o con las baterías y de esta forma obtener mediante las distintas fuentes la energía más conveniente. La última de las funciones, es la obtención de datos e información relevante y útil del rendimiento, producción de energía y el correcto funcionamiento de los paneles[26].

Tipos:

-Inversores string

Los inversores de este tipo son una opción bastante frecuente en todo el mundo. Esto se debe a que, si el tejado del edificio donde se desea colocar paneles solares tiene una única dirección o no da la sombra, es la opción más económica y de más fácil mantenimiento[27].

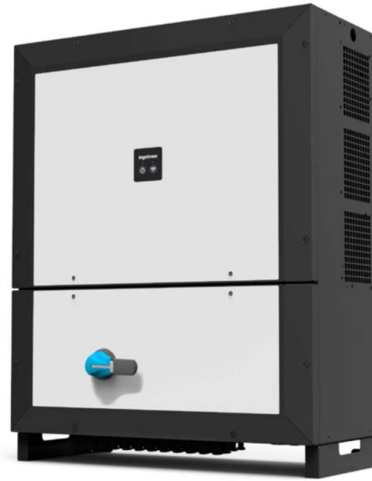


Figura 16: Inversor string[28]

Funcionamiento:

Este tipo de inversor se desarrolló hace décadas por lo que no siempre es la mejor opción a la hora de realizar la elección del tipo de inversor. Su funcionamiento se basa en captar tanta energía como el panel con menor eficiencia de ramal. Los ramales son las agrupaciones de varios paneles conectados en serie entre sí. Lo que implica que, si un panel solar está en la sombra, todo el ramal producirá menos potencia de la necesaria.

-Microinversores

Es una opción que ha ido ganando protagonismo estos últimos años en el autoconsumo residencial. Esto se debe a que en un primer momento eran mucho más caros que los inversores string, pero con el paso de los años se ha conseguido disminuir considerablemente su precio y de esta manera lograr que sus ventas aumentaran. A diferencia de los string, que solo es necesario un inversor para cada ramal, los microinversores se encuentran en cada una de las placas de la instalación. La gran ventaja que tienen es que son más eficientes que los nombrados anteriormente debido a que si la sombra afecta a alguno de los paneles, el rendimiento del resto de las placas no se ve perjudicado. Pero otro factor a tener en cuenta es que, en este caso, el mantenimiento será más difícil[27].



Figura 17: Microinversor[29]

Funcionamiento:

En cada placa solar se coloca un microinversor que se encarga individualmente de transformar la corriente continua a alterna sin la necesidad de que la corriente viaje hacia el centro de inversión. Debido a su funcionamiento, la sobra no afectará al rendimiento de la instalación y se podrá obtener información individual de cada panel.

-Optimizadores de potencia

Este tipo de inversores, combinan cualidades de los inversores string y de los microinversores. Estos se encuentran individualmente en cada panel, pero a su vez, siguen enviando la energía al inversor centralizado. Instalando optimizadores de potencia se logra mejorar la eficiencia de la instalación y disminuir el valor de la inversión que se debe a hacer puesto que son más asequibles que los microinversores y a su vez, no se ven afectados por el efecto de la sombra[27].



Figura 18: Optimizador de potencia[30]

Funcionamiento:

La principal diferencia entre el funcionamiento de esta clase de inversor a los microinversores, es que, no se convierte la corriente continua en alterna, sino que la corriente continua se convierte en corriente continua para lograr modificar el punto en la curva I-V (tensión-intensidad) de los paneles que se encuentran en la sombra sin modificar el punto en la gráfica de las placas que no lo están. Es decir, el objetivo es unificar la intensidad del ramal conectado al inversor, siguiendo el MPPT (punto de máxima potencia) con la V fija de cada circuito.

Batería

La batería es otro de los elementos fundamentales a la hora de instalar en una vivienda paneles fotovoltaicos. Esta es la encargada de proporcionar energía cuando no hay sol, es decir, cuando es de noche o el cielo está nublado[31].

Funciones:

Su principal función es almacenar la energía que generan las placas solares a lo largo del día, lo que permite desconectar la instalación de la red por completo. Además, permitirá disminuir la cantidad a pagar en la factura de la luz.

Tipos:

-Baterías monoblock para placas solares

Esta clase de baterías constan de 3 o 6 celdas de 2 voltios cada una, conectada para formar bloques de 6 o 12 voltios. Este tipo en concreto, están fabricadas con plomo y electrolito y su principal función es almacenar energía.

Suelen encontrarse en pequeñas instalaciones, como electrodomésticos o aparatos electrónicos y son económicas en comparación con el resto de clases.

Dentro de este grupo, se encuentran las baterías monoblock de plomo de ácido abiertas, de ciclo profundo, AGM, de gel y de ion-litio.



Figura 19: Batería monoblock[32]

-Baterías estacionarias para placas solares

Este tipo de baterías tienen una vida útil más larga que las nombradas anteriormente, siendo esta de aproximadamente 20 años, y su uso es más frecuente y recomendable en instalaciones permanentes.

Dentro de este grupo, se encuentran dos tipos, las baterías estacionarias de plomo ácido abiertas y las estacionarias de gel.



Figura 20: Batería estacionaria[33]

Regulador de carga

El regulador de carga es un dispositivo que permite controlar si las baterías están funcionando correctamente objetivo de que hagan un trabajo óptimo y de esta forma tener la vida útil más larga posible. Para comprobar el correcto funcionamiento, se miden los valores de la V (tensión) e I (intensidad) en cada etapa de carga[34].

Funciones:

Además de controlar el estado de la batería de la instalación fotovoltaica y aplicarse un algoritmo conveniente para alargar su vida útil, protege la batería ante posibles sobrecargas y voltajes que puedan llegar a afectarla. Si esto sucediera, se compensaría con un voltaje superior producido por el campo fotovoltaico y así se podrá evitar el deterioro o malfuncionamiento de la batería.

Tipos:

-Regulador de carga PWM

Con este tipo de regulador, se generan pérdidas de energía debido a que los módulos trabajan a la tensión a la que se encuentra la batería. Para que este dispositivo trabaje correctamente, la batería y los paneles solares deberían encontrarse al mismo voltaje. Las principales ventajas que ofrece son su precio, económico, y su facilidad de transporte. El mayor inconveniente de este tipo de reguladores es que no utiliza la totalidad de la energía solar producida[34].



Figura 21: Regulador de carga PWM[35]

-Regulador de carga MPPT

Esta clase de reguladores, a la hora de cargar la batería aprovechan la totalidad de la producción de energía solar del panel, a diferencia de los reguladores mencionados anteriormente. Pero la principal diferencia con los reguladores de carga PWM es que este incluye un MPPT (controlador del punto de máxima potencia) además de un transformador CC-CC que transforma la corriente continua de baja tensión en corriente continua de menor tensión para cargar la batería. Además, los reguladores MPPT eligen la tensión adecuada en cada momento para trabajar con los módulos. La principal ventaja que ofrecen es su mayor eficiencia en comparación con los anteriores[34].



Figura 22: Regulador de carga MPPT[36]

Medidor bidireccional

Es el dispositivo encargado de contabilizar la energía eléctrica que viaja de la red eléctrica al usuario y viceversa. Son necesarios en las instalaciones en las que se produce un exceso de energía, y mediante estos, se envía la energía sobrante a la red eléctrica[37].



Figura 23: Medidor bidireccional[38]

8. Normativa instalación placas fotovoltaicas

En España, la normativa dictada para la instalación de paneles solares, esta promulgada por el Real Decreto 244/2019[39], mediante el cual se establecen una serie de regulaciones técnicas, administrativas y económicas para las viviendas con sistemas de autoconsumo de energía eléctrica. Algunas de las medidas que establece este decreto son[40]:

- Existen tres tipos de autoconsumo. El autoconsumo sin excedentes, el cual implica que las instalaciones de paneles solares que se encuentran en las viviendas conectadas a la red de distribución cuentan con un sistema de antivertidos que no permite la inyección de energía eléctrica sobrante a la red. El otro tipo de autoconsumo es con excedentes, el cual sí que permite la inyección del excedente de energía eléctrica a la red. Dentro de esta categoría se puede hacer dos distinciones, excedentes acogidas a compensación y excedentes no acogida a compensación.

- Se permite que el propietario y el consumidor de la energía eléctrica generada por medio de instalaciones fotovoltaicas sean diferentes.

La simplificación de la tramitación. No será necesario tener permisos de acceso y conexión en el caso de las instalaciones con excedentes de menos de 15kV o en caso de instalaciones sin excedentes. Y el contrato de acceso con la distribuidora se realizará por la empresa distribuidora en el caso de las instalaciones de baja tensión conectadas a menos de 100kW.

- Se establece un régimen económico, en el que se destacan diferentes alternativas en función de la clase de autoconsumo del edificio. La primera opción será vender los excedentes de energía con un peaje de 0,5 €/MWh y con un impuesto del 7%. La otra alternativa es la compensación mensual de los excedentes cuyo precio deberá ser pactado entre las partes. A diferencia de la opción anterior, no será necesario pagar peajes o impuestos.
- La potencia instalada de la instalación de paneles solares será la potencia máxima del inversor.

Además de las medidas principales citadas anteriormente en el Real Decreto 244/20129, se establecieron una serie de cambio:

- Supresión de las tasas de generación de energía eléctrica. Esto se debe a la abolición del Impuesto al sol, el cual dicta el pago de un cargo adicional causado por la producción de energía mediante placas solares.
- Supresión del límite de potencia. Antes de la aprobación de este cambio, la potencia máxima producida por la instalación fotovoltaica tenía como límite la potencia contratada.
- Reconocimiento de autoconsumo colectivo. Lo que implica la participación de varios consumidores en un mismo grupo, teniendo un acuerdo de energía eléctrica procedente de instalaciones cercanas a las de consumo. Este tipo de instalaciones se pueden conectar de dos maneras diferentes. En primer lugar, si se trata de una comunidad de propietarios, se considerará una instalación próxima en red interior. En cambio, si se trata de consumidores en edificios diferentes, será considerada una instalación próxima a través de red.

9. Consumos del edificio

A continuación, en las *Tablas 1 y 2*, se encuentran los consumos comunes de energía y potencia del edificio a lo largo del 2021.

Entre estos consumos de encuentra la iluminación, ascensores, bombas de circulación del agua fría, caliente y climatización, automatismos de acceso al garaje e instalación de seguridad.

En el edificio seleccionado para el estudio, se tiene contratada la tarifa 3.0 TD[41]. Esta tarifa consta de seis periodos y cuatro temporadas diferentes. Los periodos son P1, P2, P3, P4, P5 y P6, siendo P1 el más caro y P6 el más barato. Las temporadas se dividen en alta, media-alta, media y baja dependiendo de los meses del año. Se procede a analizar los precios de la energía y de la potencia haciendo distinción entre temporadas en las *Tablas 3, 4, 5 y 6*.

Una vez que se conocen los diferentes periodos, será necesario saber los precios medios de la potencia y de la energía eléctrica en cada periodo. Estos datos se encuentran recogidos en la *Tabla 7*.

A partir de esa información, se puede calcular el coste de la energía total del edificio en los diferentes meses del año. Estos datos se encuentran recogidos en la *Tabla 8*.

CONSUMO DE ENERGÍA DEL EDIFICIO [kWh]												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pico	1118	1242	1035	429	366	362	374	302	435	367	1048	1446
Llano	1976	2217	1842	1527	1307	1055	1090	917	1299	1046	1691	2460
Valle	592	669	581	718	574	600	656	550	744	535	516	712
Total	3686	4128	3458	2674	2247	2017	2120	1769	2478	1948	3255	4618

Tabla 1: Consumo de energía del edificio 2021. Elaboración propia

CONSUMO DE POTENCIA DEL EDIFICIO [kW]												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pico	11	11	11	11	11	4	3	3	3	10	11	11
Llano	12	12	12	13	11	10	4	4	4	11	12	13
Valle	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
Total	33	26	26	27	25	17	11	10	10	24	26	28

Tabla 2: Consumo de potencia del edificio 2021. Elaboración propia

Temporada alta

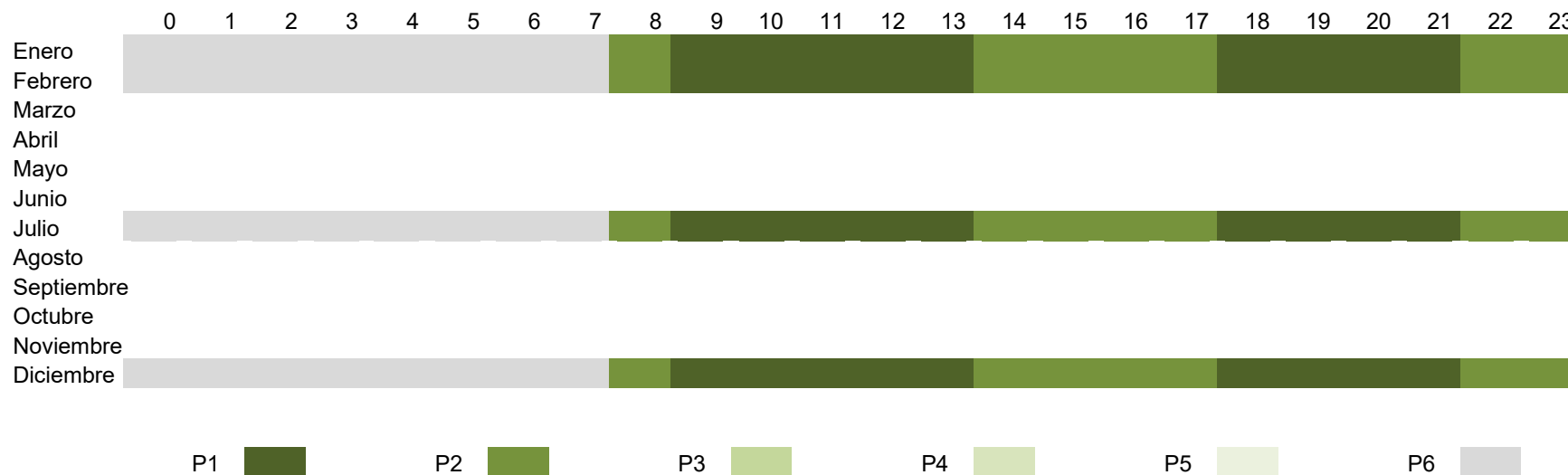


Tabla 3: Periodos temporada alta. [41]

Temporada media-alta



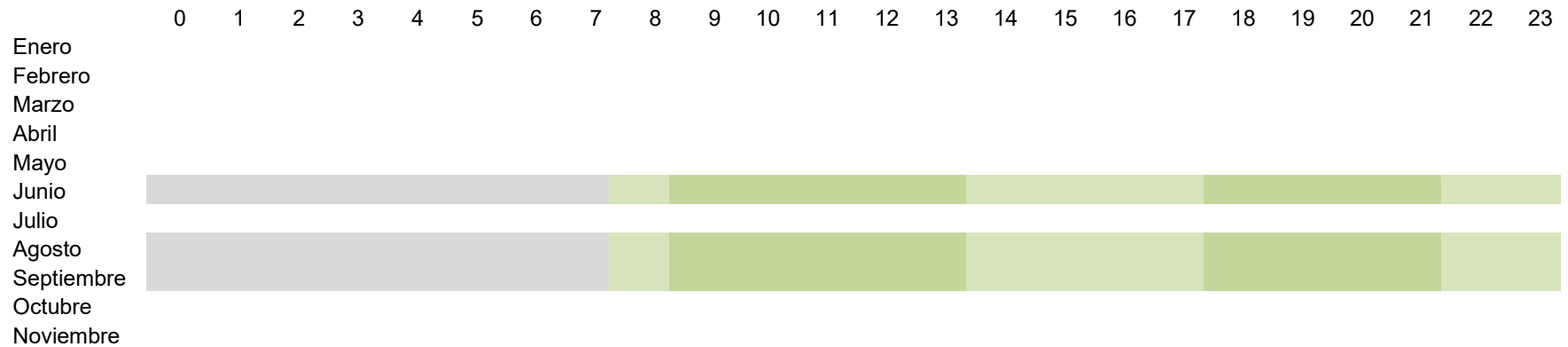
Mayo
Junio
Julio
Agosto
Septiembre
Octubre
Noviembre
Diciembre



P1 P2 P3 P4 P5 P6

Tabla 4: Periodos temporada media-alta. [41]

Temporada media



Diciembre



Tabla 5: Periodos temporada media. [41]

Temporada baja

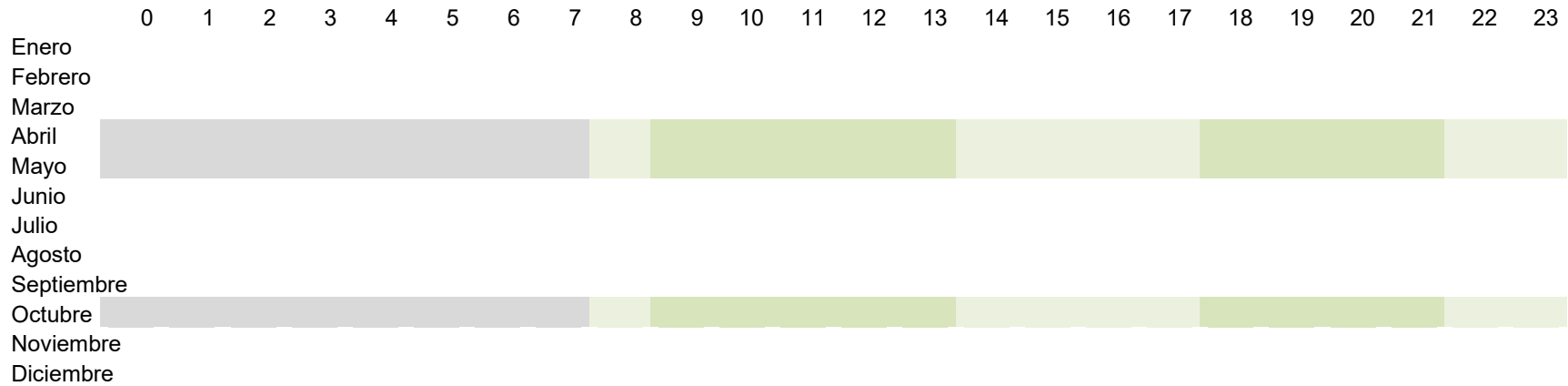


Tabla 6: Periodos temporada baja.[41]

PRECIOS MEDIOS DE LOS PERIODOS											
Precio potencia [€/kW/día]						Precio energía [€/kWh]					
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0,051	0,036	0,019	0,017	0,013	0,009	0,230	0,196	0,153	0,130	0,109	0,104

Tabla 7: Precios medios potencia y energía en cada periodo[41]

COSTE ENERGÍA DEL EDIFICIO [€]											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
706	789,8	545,1	296,9	249,7	254,9	367,9	222,6	312,8	217,4	517,8	888,8
TOTAL						5369,7€					

Tabla 8: Coste energía en el edificio. Elaboración propia

10. Cálculos

Potencia necesaria

A la hora de decidir que placas son las indicadas para la instalación, es necesario realizar una serie de cálculos. En primer lugar, se calcula la energía total consumida por el edificio a lo largo de un año, sumando el total de cada mes previamente calculado en la *Tabla 1*.

$$E_{total} = 34.398 \text{ kWh}$$

A continuación, será necesario conocer la HSP (Hora Solar Pico) de esa región. [42] Esta unidad mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . En la *Figura 24* se puede ver que en cada región hay dos cifras diferentes. La cifra superior hace referencia al número de kW por hora por m^2 y por año. La cifra inferior indica las horas de sol efectivas a lo largo de un año [43].

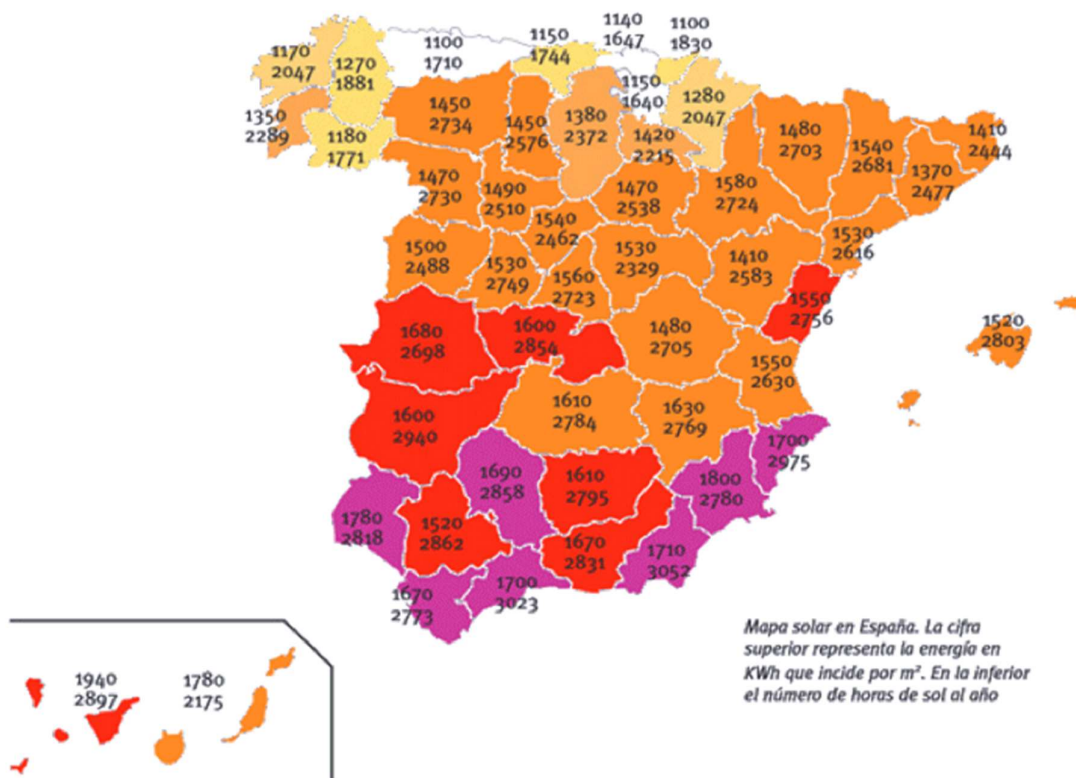


Figura 24: Mapa España de los diferentes HPS por comunidades[44]

Dado que el edificio del que se quiere realizar el estudio está situado en Valladolid, se extraerán los datos del mapa de esa región. Se tienen 1490 kW por hora por m² y por año y 2510 horas de sol efectivas al año.

La potencia que se necesita que produzcan las placas solares viene dada por la expresión:

$$P = \frac{\text{Potencia total en un año}}{\text{Horas efectivas de sol en un año}} = \frac{34.398 \frac{kWh}{año}}{2.510 \frac{horas de sol}{año}} = 13.704 W$$

Como el objetivo del proyecto es poder suministrar mediante los paneles fotovoltaicos el 75% de la energía total necesitada, la potencia que las placas necesitan producir es de:

$$P_{necesaria} = 13.704W * 0,75 = 10.278W$$

Con estos datos y sabiendo que el tejado de la vivienda a estudiar consta de 216m² disponibles, se procederá a elegir el tipo y el número de placas necesarias.

Ángulo de inclinación y orientación necesarias

Para lograr que la instalación de los paneles fotovoltaicos tenga un buen rendimiento y sea rentable, es necesario elegir la orientación y la inclinación de las placas. Como se puede observar en la *Figura 25*, el rendimiento de los paneles varía en función de estos dos factores y por ello es necesario realizar los cálculos oportunos para determinarlos.

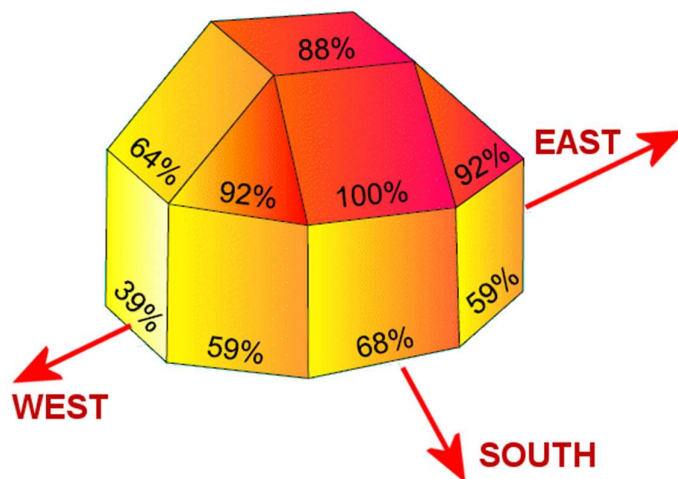


Figura 25: Rendimiento por orientación de placas solares en España[45]

- Orientación

Por lo general, en España se tiende a poner las placas solares orientadas hacia el sur debido a que el sur corresponde a las 12 del mediodía, alcanzando en este momento el pico de producción. Aunque la tecnología está avanzando y se hayan creado paneles fotovoltaicos con seguidores solares, que rotan en función de la posición del sol para obtener el rendimiento óptimo, esto es una alternativa bastante costosa que supone gastos adicionales innecesarios. Esta orientación viene dada por el azimut (α) como se puede ver en la *Figura 26*. En el caso de orientar las placas hacia el sur, se tendría un azimut de 0° [46].

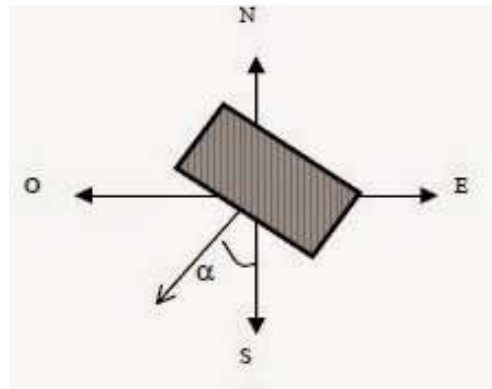


Figura 26: Azimut[47]

- Inclinación

Para seleccionar la inclinación de los paneles, es importante saber que, dependiendo de la distancia al ecuador, el ángulo variará. Cuanto más cerca, menor será el ángulo dado que los rayos de sol caerán más perpendiculares [46].

Dada la latitud de España, la inclinación de los paneles suele encontrarse entre los 20° y los 40° . Por el norte de España será de unos 40° y por el sur de España será de unos 20° - 25° .

Para elegir el ángulo al que posicionar las placas, es necesario tener en cuenta la inclinación del tejado del edificio, que en este caso es de aproximadamente 35° .



Figura 27: Vista del edificio. Google Earth

Además, es necesario conocer la latitud de la región estudiada dado que la altura del sol a mediodía varía en cada región. En este caso, Valladolid se encuentra en latitud 41° . Una vez que se conoce este valor, para conocer el punto de culminación durante el solsticio de verano, momento en el cual el sol se encuentra a su máxima altura, se restará la inclinación de la tierra, que es aproximadamente de 23° , y a continuación restarle esta cifra a 90° [48].

$$\text{Punto culminación del sol} = 90 - (41 - 23) = 72^\circ$$

Conociendo este parámetro, la inclinación de los paneles solares debería ser de $90 - 72 = 18^\circ$.

Otro momento en el que es necesario conocer el punto de culminación del sol, será en el solsticio de invierno, en el que el sol se sitúa en la mínima altura. En este caso se deberá sumar la inclinación de la tierra y esta cifra restársela a 90, obteniendo el siguiente resultado[48].

$$\text{Punto culminación del sol} = 90 - (41 + 23) = 26^\circ$$

Por lo que la inclinación de las placas deberá de ser de $90 - 26 = 64^\circ$.

Dependiendo de en qué época del año se desea obtener el mayor rendimiento, se elegirá una inclinación determinada. Como en este caso, las necesidades energéticas de nuestro edificio de vivienda no varían significativamente durante el año, le inclinación a

la que se instalen los paneles será de unos 40°, valor intermedio entre los ángulos óptimos para el solsticio de verano y de invierno, calculados previamente.

11. Selección

En primer lugar, se elegirá el tipo de instalación necesaria, acorde con las necesidades de la vivienda y del proyecto.

Como solo es necesario que se cubra el 75% de la demanda del edificio, se requiere de la red eléctrica para poder abastecer el 25% de la demanda restante. Por ello, se seleccionará una **instalación solar fotovoltaica conectada a la red**.

11.1. Módulos

Como la instalación de placas solares es un proyecto para el cual es imprescindible realizar una inversión inicial de gran magnitud, se elegirá la clase de módulo más conveniente para que la rentabilidad sea óptima.

En primer lugar, se eligen módulos **monocristalinos** debido a su buena eficiencia, y a pesar de que la inversión inicial sea mayor que en los módulos policristalinos, saldrá más rentable a largo plazo.

Para conocer el rendimiento de la instalación, se deben calcular las pérdidas que se producen por incumplimiento de la potencia nominal, por el conexionado de los módulos, por el polvo y la suciedad, por la orientación e inclinación, por temperatura, por el rendimiento del inversor, por el cableado y por el sombreado.

Para el cálculo de estas pérdidas es necesario conocer la potencia de los módulos, el coeficiente de temperatura y el precio, ya que estos parámetros influyen directamente en el rendimiento de los paneles.

Dado que el coeficiente de temperatura es la disminución porcentual en la producción de la energía eléctrica de una placa fotovoltaica por cada incremento de 1°C en temperatura a partir de los 25°C. Por esta razón, se busca que esta cifra sea la menor posible. Por esa razón, se hace una primera selección de todos los módulos del mercado con el menor coeficiente de temperatura que son las opciones que se encuentran en la *Tabla 9*.

En dicha Tabla, se encuentran las características de funcionamiento de los paneles solares cuando se encuentran trabajando a unas determinadas condiciones. Estas condiciones son las STC (Standard Test Conditions) y son las siguientes:

- 1000 W/m²
- 25°C
- 1,5 AM

Tras tener un número más reducido de opciones, y sabiendo que los ALEO S-17 son ligeramente mejores que los ALEO S-03 por tener un coeficiente de temperatura menor, se observan la eficiencia y la potencia máxima de los paneles. La mejor alternativa es el **ALEO S-17 (190)** y puesto que no existe una gran diferencia de precio entre esta opción y otras con peor eficiencia y/o menor potencia, será esta clase de módulos los que se elegirán para la instalación.

Módulo	Potencia máxima	V _{máx.}	I _{máx.}	Coef Temp.	Eficiencia	Precio
ALEO S-03 (150)	150 W	34,5V	4,35A	-0,35%	11,70%	45,375 €
ALEO S-03 (155)	155 W	34,7V	4,46A	-0,35%	12,10%	46,8875 €
ALEO S-03 (160)	160 W	35,0V	4,57A	-0,35%	12,50%	48,4 €
ALEO S-03 (165)	165 W	35,2V	4,69A	-0,35%	12,90%	49,9125 €
ALEO S-03 (170)	170 W	35,4V	4,80A	-0,35%	13,30%	51,425 €
ALEO S-03 (175)	175 W	35,7V	4,90A	-0,35%	13,70%	52,9375 €
ALEO S-17 (170)	170 W	23,5V	7,3A	-0,34%	12,30%	51,425 €
ALEO S-17 (175)	175 W	23,8V	7,4A	-0,34%	12,70%	52,9375 €
ALEO S-17 (180)	180 W	24,0V	7,5A	-0,34%	13,10%	54,45 €
ALEO S-17 (185)	185 W	24,5V	7,6A	-0,34%	13,40%	55,9625 €
ALEO S-17 (190)	190 W	24,8V	7,7A	-0,34%	13,80%	57,475 €

Tabla 9: Características posibles módulos. Elaboración propia

11.2. Inversor

A la hora de elegir el tipo de inversor más conveniente para la instalación es importante tener en cuenta el rendimiento de estos. Como se ha mencionado previamente, un factor que afecta directamente al rendimiento de los inversores es la sombra causada por nubes o por otros edificios próximos al edificio a estudiar.

Los inversores que se ven afectados más directamente por este fenómeno son los inversores string. Esto se debe a que en los inversores string, hay un inversor por ramal o conjunto de placas, lo que implica que las placas sufrirán una reducción significativa en el rendimiento de la potencia, ya que como se mencionó previamente, la potencia a la que este ramal funcionará se verá restringido por el panel con la menor potencia. Lo que implica que, si un panel se ve afectado por la sombra, el resto de los paneles del mismo conjunto funcionarán con el mismo rendimiento de la placa afectada.

En cambio, en los micro inversores y en los optimizadores de potencia, esto no sucede debido a que cada placa consta con un inversor individual y en el caso de que uno de los paneles del ramal se viera afectado por una sombra, esto no causaría ningún efecto en el resto de las placas.

En la *Figura 13*, se puede observar el funcionamiento de los dos grupos de inversores, con un solo inversor o por ramal, y con un inversor en cada panel.

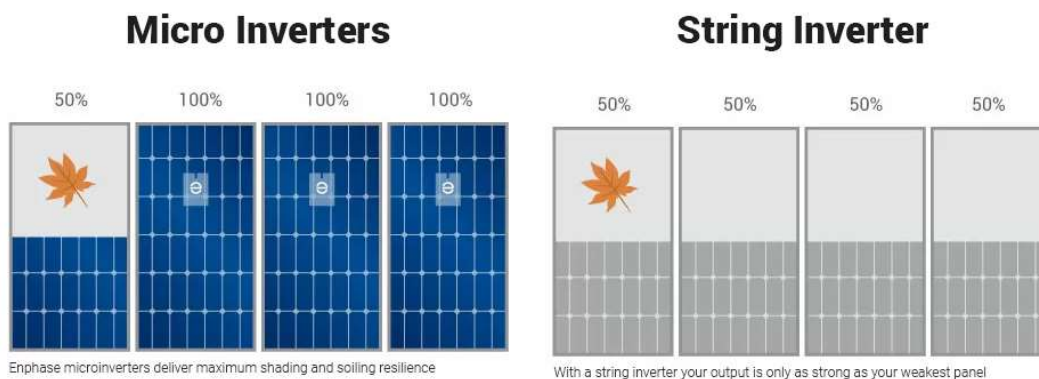


Figura 28: Efecto de la sombra en paneles con los distintos tipos de inversores[49]

Dado que los días nublados (gris) y parcialmente nublados (azul) en Valladolid se dan con bastante frecuencia, como se puede apreciar en la *Figura 14*, es conveniente descartar el uso único inversores string como opción para la instalación fotovoltaica ya que podría suponer una gran diferencia en su rendimiento. Pero podría ser conveniente el uso de inversores string además de optimizadores de potencia, ya que los

optimizadores se instalarían en aquellos paneles a los que es más posible que les afecte la sombra, y de esta manera evitar que la potencia de funcionamiento disminuya[50].

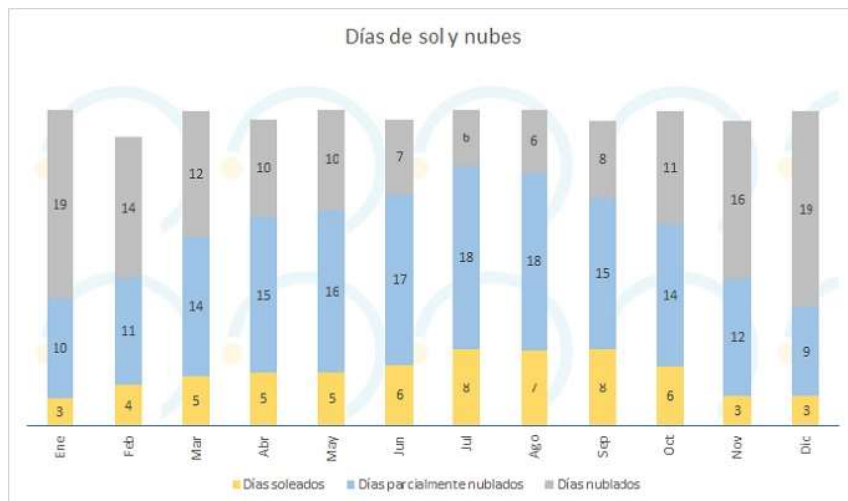


Figura 14: Días soleados, parcialmente nublados y nublados en los diferentes meses en Valladolid[50]

A continuación, se expone en la *Tabla 10* otras características importantes de los diferentes tipos de inversores que se deben tener en cuenta a la hora de tomar la decisión de cual instalar[51].

Tipo inversor	Eficiencia	Mantenimiento	Coste	Escalabilidad
Micro inversor	96,5%	Muy complejo	€€	Ilimitada
String y Optimizador de potencia	98,8%	Complejo	€€€	Limitada

Tabla 10: Comparación inversores[51][52]

Una vez descartado el uso único de inversores string, las dos opciones restantes que quedan son los micro inversores y los optimizadores de potencia junto con inversores string.

Ambas son buenas opciones debido a que se consigue el máximo rendimiento. Además, otra característica que tiene en común es su fácil monitorización individual, de cada panel, en tiempo real. Esto es conveniente ya que sería sencillo identificar rápidamente en caso de avería, en que placa solar se encuentra además de saber la producción de cada panel por separado. Sabiendo esto, se procederá a examinar las principales diferencias entre las dos alternativas posibles.

En primer lugar, la eficiencia se define como la capacidad de disponer de algo para conseguir un efecto determinado. Teniendo en cuenta esto, los optimizadores de potencia, aunque la diferencia no es tan significativa, serían mejores en referencia a este aspecto.

En segundo lugar, el mantenimiento de estos dispositivos es necesario, y en el caso de los micro inversores, sería más complejo. Esto se debe a que en el caso de estos últimos nombrados, puesto que su localización se encuentra en el tejado del edificio, no solo requieren de más cableado y componentes eléctricos para trasladarlos ahí, sino que su mantenimiento, por muy simple que sea se ve dificultado por estar a una altura considerable.

Otro factor a tener en cuenta es la inversión inicial que se debe hacer. Esta es mayor en el caso de los micro inversores. La razón de esto es que, en el caso de los micro inversores, el cableado es complejo debido a que se instalan en el tejado. En cambio, para la segunda opción se necesita un dispositivo que no se encuentra en el tejado, el inversor string, y un dispositivo en las placas afectadas por la sombra, el optimizador de potencia, que además también se instalará en el tejado. Ambos se encuentran conectados por un único circuito.

Es necesario, además, tener en consideración la escalabilidad o capacidad de crecer en magnitud. Los optimizadores de potencia, en este caso, son menos ventajosos que los micro inversores. Instalando un optimizador de potencia, provocará que se limiten las placas que se podrán añadir con el paso del tiempo, cifra que se verá marcada por la potencia de los paneles y del inversor. Los micro inversores en cambio, no cuentan con un límite de placas dado que en este caso hay más de un inversor, lo que no supondría ningún problema si la demanda de energía eléctrica del edificio variase.

Una vez analizas estas propiedades de los tipos de inversores, se llega a la conclusión de que la mejor opción, puesto que ofrece más ventajas, es instalar optimizadores de potencia.

La potencia de salida del inversor string debe ser mayor a la potencia total que las placas solares deberían producir. En este caso, mayor que 10278W.

En la *Tabla 11*, se encuentra una selección de las mejores opciones de inversores string del mercado.

Dado que en todas las alternativas la eficiencia es parecida, este no será un parámetro que intervenga a la hora de tomar la decisión.

Como se necesita que como mínimo la potencia de salida sea de 10278W y el caso de no cubrir toda la energía necesaria se podría obtener de la red, se elegirá el **INVERSOR Red Fronius symo 12,5W**. Además, es la opción más económica.

Como se mencionó previamente, también se necesitaría del uso de optimizadores de potencia, pero dado que su precio ronda los 900€ y habría que colocar uno en cada panel, lo más posible es que no saliera rentable. Además, puesto que generalmente, la mayor parte de días en Valladolid son nublados, los optimizadores de potencia no sería de gran utilidad ya que todos los paneles estarían trabajando con el mismo rendimiento con o sin estos dispositivos, debido a que todos se vería afectados por sombra o nubes de la misma forma.

11.3. Soporte

Debido a que se decidió previamente que las placas tuvieran una inclinación de unos 40° aproximadamente y dado que el tejado del edificio cuenta con una inclinación de unos 35°, no será necesario que se instale un soporte que añada inclinación a los paneles fotovoltaicos, lo que implica que estos irán directamente dispuestos sobre el tejado de la casa sobre una estructura coplanar que sujete a las placas.

Una vez hecha la elección de todos los componentes, el esquema unifilar de la instalación de placas fotovoltaicas es el representado en el ANEXO V.

MODELO	POTENCIA SALIDA	VOLTAJE DE TRABAJO	CORRIENTE MÁXIMA DE ENTRADA	EFICIENCIA	PRECIO
Inversor Sunny Tripower 15kW	15000W	150/188V	33A	98,40%	3100€
INVERTOR Red Fronius symo 12,5kW	12500W	320V/800V	43,5A	98%	2690€
INVERTOR Red Fronius symo 15kW	15000W	320V/800V	51A	98,10%	2721€
INVERTOR Red Fronius symo 17,5kW	17500W	370V/800V	51A	98,10%	2968€

Tabla 11: Características posibles inversores string

12. Cálculo número de módulos

Para obtener el número de placas fotovoltaicas que son necesarias para suministrar al edificio la energía eléctrica necesaria, es conveniente en primer lugar, calcular la energía que debería producir cada módulo en un día. Para ellos se usa la siguiente expresión[53]:

$$E_{panel} = I_{panel} * V_{panel} * HSP * \eta$$

Donde E_{panel} es la energía generada por un panel solar a lo largo de un día, I_{panel} es la intensidad máxima del panel, V_{panel} la tensión máxima del panel, HSP la hora sol pico y η el coeficiente del rendimiento de la placa.

Para conocer el η (coeficiente del rendimiento de la placa), es necesario calcular las pérdidas en el rendimiento de los paneles solares.

12.1. Pérdidas

Para conocer el rendimiento de la instalación, es necesario conocer las pérdidas de esta. A continuación, se citan las fuentes principales de producción de pérdidas[54]:

12.1.1 Pérdidas por incumplimiento de la potencia nominal

Las pérdidas por no cumplimiento de la potencia nominal son causadas debido a que no todas las placas fotovoltaicas van a ser idénticas, al ser fabricadas mediante un proceso industrial, y la potencia que estas producen siempre tendrán un margen de error. La potencia generada por un panel fotovoltaico suele encontrarse entre $P \pm 3\%$, $P \pm 5\%$ y $P \pm 10\%$ [54].

Para esta instalación, se estimará que las pérdidas por incumplimiento de la potencia nominal sean del **5%**.

12.1.2. Pérdidas de conexionado de módulos

Las pérdidas por el conexionado de los módulos o mismatch, son causadas por la conexión de placas solares con potencias ligeramente diferentes.

Esto se debe a que, al conectar varios módulos con diferentes intensidades en serie, la corriente será limitada por la placa con la menor intensidad posible de todas. Ocurre algo similar cuando las placas se conectan en paralelo. La potencia de cada generador fotovoltaico es menor a la suma de las potencias generadas por cada módulo[54].

Este efecto se podría reducir mediante un diodo bypass.

En este caso, se escogerá un valor estimado del **5%**.

12.1.3. Pérdidas por polvo y suciedad

Debido a la deposición de polvo en los módulos fotovoltaicos, la potencia generada por estos disminuye. Pero se pueden diferenciar dos tipos de situaciones. En la primera situación, el polvo y la suciedad se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo de toda la placa, lo que provoca que la potencia generada se ve disminuida debido a que la tensión y la intensidad se reducen[54].

En la otra situación, la suciedad se encuentra en áreas localizada lo que hace que se produzca un crecimiento de las pérdidas por el conexionado de los módulos además de un aumento de las pérdidas por la formación de puntos calientes.

En la *Figura 29*, se pueden observar las pérdidas anuales provocadas por el polvo y la suciedad en todo el mundo.

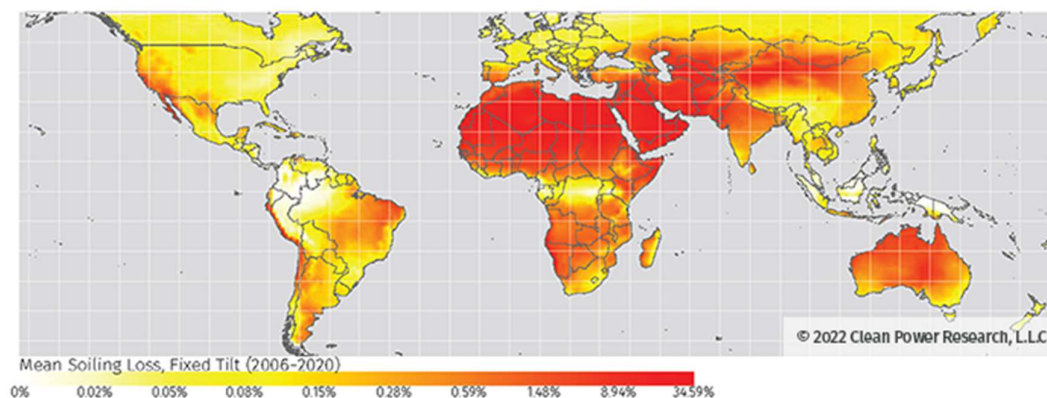


Figura 29: Pérdidas en placas solares producidas por polvo y suciedad[55]

En base a la imagen anterior, se tomará un valor de **1,5%** para las pérdidas por polvo y suciedad.

12.1.4. Pérdidas por orientaciones e inclinación

A pesar de que previamente, en el Apartado 10 se calculó la orientación y la inclinación óptima de los paneles, es inevitable que se produzcan pérdidas.

Para calcular el porcentaje de la producción total que suponen estas pérdidas, es necesario realizar una serie de cálculos.

El método que se utilizará es el propuesto por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía), válido para una latitud de hasta 41° , que exactamente a la que se encuentra Valladolid.

En la Figura 30, se representa con las líneas que salen radialmente (β) el ángulo de inclinación de las placas solares, y los círculos concéntricos representan el ángulo al que se orientarán los paneles (α). Sabiendo que en el caso del edificio del estudio $\alpha=0^\circ$ y $\beta=35^\circ$ y mirando en la *Figura 30* en que zona se encuentra, se observa que la zona en la que se sitúa es la blanca, con un rendimiento del 95%-100%, por lo que las pérdidas máximas que se pueden obtener causadas por la inclinación y la orientación serán del 5%.

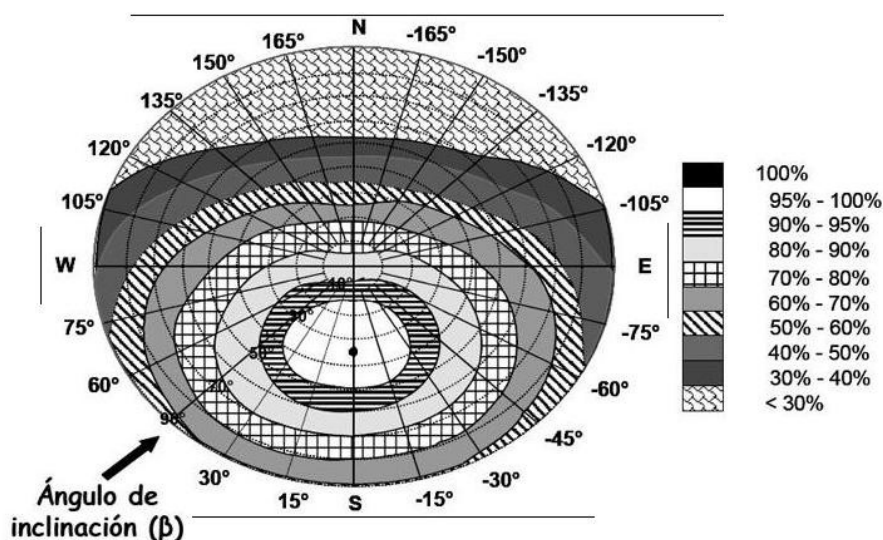


Figura 30: Pérdida por inclinación y orientación dependiendo del ángulo[56]

Una vez que se conoce el porcentaje de pérdidas aproximadamente, se procede a realizar unos cálculos para conocer el valor exacto. Para una inclinación de las placas de entre 15° y 90° , se puede utilizar la siguiente expresión[56]:

$$Pérdidas = 100 * [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \varphi + 10)^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2]$$

Dónde α es el ángulo al que se orientarán las placas, β la inclinación de las placas y φ la latitud de la región donde se situará la instalación. En este caso:

- $\alpha=0^\circ$
- $\beta=35^\circ$
- $\varphi=41^\circ$

Una vez que se conocen todos los parámetros se sustituyen en la fórmula de esta manera:

$$\begin{aligned} Pérdidas &= 100 * [1,2 * 10^{-4} * (35 - 41 + 10)^2 + 3,5 * 10^{-5} * 0^2] \\ &= \mathbf{0,192\%} \end{aligned}$$

A partir de este porcentaje se puede obtener el rendimiento de la instalación, que será del 99,81%. Cifra que se encuentra en el rango calculado previamente mediante la *Figura 30*.

12.1.5. Pérdidas por temperatura

Las placas solares se fabrican generalmente son silicio. Este material cambia sus propiedades de coeficiente de absorción de la radiación, movilidad de las cargas, amplitud de la brecha energética, resistividad del semiconductor y concentración de portadores de carga en función de la temperatura ambiente. Estas cualidades tienen un efecto directo sobre la cantidad de energía eléctrica que las placas pueden producir y es por eso por lo que se producen pérdidas[57].

Las condiciones nominales de funcionamiento de las células fotovoltaicas son las siguientes:

- 800W/m² de insolación
- Velocidad del viento de 1m/s
- Espectro de radiación para la densidad atmosférica de 1,5 AM
- Temperatura ambiente 20°

En primer lugar, para obtener la pérdida de producción de un panel solar debido a la temperatura, hay que calcular el incremento de temperatura de una célula fotovoltaica respecto a la temperatura ambiente. Para ello, se usa la siguiente expresión:

$$\Delta t^{\circ} = 0,034 * I - 4$$

Donde I es la potencia que produce en sol expresada en W/m². Para obtener este dato, es necesario volver a la Figura 24 y realizar la siguiente operación:

$$IValladolid = \frac{Energía \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}{Horas de sol al año [h]}$$

Sustituyendo los datos específicos para Valladolid, se obtiene:

$$IValladolid = \frac{1490 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}{2510[h]} = 593,6 \text{ W/m}^2$$

Sustituyendo en la expresión del incremento de temperatura:

$$\Delta t^{\circ} = 0,034 * 593,6 - 4 = 16,18^{\circ}\text{C}$$

Una vez se conoce este dato, para calcular las pérdidas del panel originadas por la temperatura, se usará:

$$\eta_{pérdidas} = Coef.Temp * (Ta - Tref)$$

Siendo Coef.Temp. el coeficiente de temperatura de la placa solar especificado por el fabricante, Ta la temperatura ambiente en el momento del análisis y Tref la temperatura de referencia.

Para obtener Ta, hay que sumar al incremento de temperatura calculado anteriormente, la temperatura media durante el año en Valladolid. Para ello en la *Tabla 12* se encuentran la media de la temperatura de cada vez y la media total de todo el año[57].

$$Ta = 16,18 + 12,2 = 28,38^{\circ}\text{C}$$

Una vez se conocen todos los datos, se procede a calcular el rendimiento de las pérdidas:

$$\eta_{p\acute{e}rdidas} = -0,34 * (28,38 - 20) = -2,84\%$$

Por lo que las pérdidas causadas por la temperatura serán de **2,84%**.

12.1.6. Pérdidas por rendimiento del inversor

A la hora de la elección del inversor, es importante escoger uno con un rendimiento alto, porque este afectará directamente al rendimiento de los módulos fotovoltaicos. En este caso, como se eligió un inversor con un rendimiento del 98%, las pérdidas causadas por el inversor serán del **2%**.

12.1.7. Pérdidas por cableado

Las pérdidas por cableado se producen debido a la resistencia que oponen los cables al paso de la intensidad por ellos. Es por ello, que se debe intentar no excederse en el momento de elegir la longitud del cable ya que este hará que se aumenten las pérdidas.

Como los valores habituales son de 1%-5%, para este proyecto se elegirá un valor del **3%**.

12.1.8. Pérdidas por sombreado

Esta clase de pérdidas se dan cuando hay un objeto que proyecta una sombra sobre los paneles. Puesto que su cálculo es complejo se estimará el valor basándose en la cifra más frecuente de pérdidas provocadas por el sombreado[58].

Para el estudio se supondrá un **3%** de pérdidas.

12.1.9. Pérdidas totales

Sumando todas pérdidas obtenidas anteriormente, se obtiene el siguiente valor:

$$P_{totales} = P_{poten.nom} + P_{conexio.} + P_{polvo} + P_{inclin.} + P_{temp.} + P_{inver.} + P_{cable.} + P_{sombr.}$$

Sustituyendo con los valores calculados previamente se obtiene:

$$P_{\text{totales}} = 5\% + 5\% + 1,5\% + 0,192\% + 2,84\% + 2\% + 3\% + 3\% = 22,5\%$$

Por lo que $\eta = 77,5\%$.

Una vez que se conoce el valor total de las pérdidas, se calcula el número de módulos necesario:

$$E_{\text{panel}} = I_{\text{panel}} * V_{\text{panel}} * HSP * \eta = PMP * HSP * \eta = 190 * 0,775 = 147,25W$$

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
TOTAL	146,2											
MEDIA	12,2											

Tabla 12: Temperatura por meses en Valladolid. Elaboración propia

Y para calcular los paneles necesarios, se divide la energía que se quiere producir entre la energía que produce un panel obteniendo:

$$\text{Núm. paneles} = \frac{10278W}{147,25W} = 69,79 \text{ paneles} \approx 70 \text{ paneles}$$

Una vez que se sabe el número de paneles convenientes, hay que comprobar si hay espacio suficiente en el tejado del edificio para los 70 paneles calculados.

El área de los paneles, sabiendo que las dimensiones son las que se indican en la *Figura 31*:

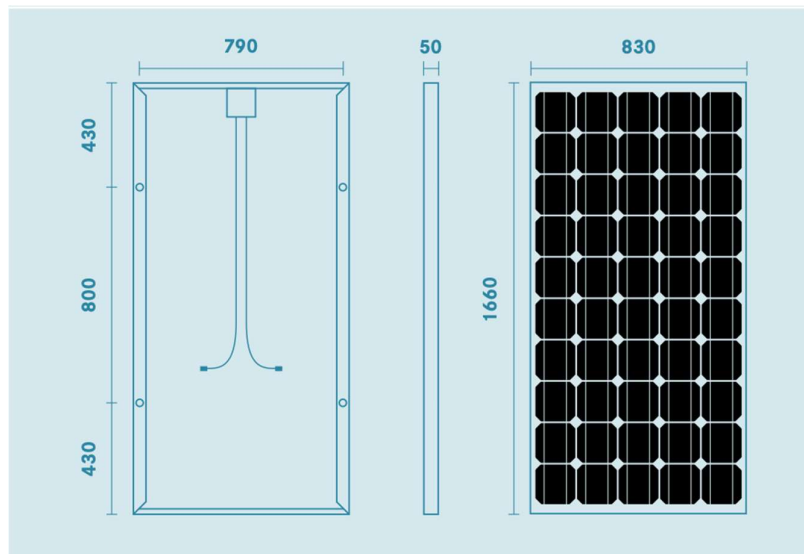


Figura 31: Dimensiones placas solares seleccionadas[59]

$$\text{Área} = 830mm * 1660mm = 1,378m^2$$

Y calculando el área que ocuparán todos los paneles:

$$\text{Área total paneles} = 1,378 * 70 = 96,44m^2$$

Al tener el tejado un área total de 216 m², será posible la instalación de la totalidad de las placas solares.

13. Disposición de los módulos

A la hora de decidir el tipo de conexión que se desea para los módulos, es importante saber que, para lograr el correcto funcionamiento de los paneles fotovoltaicos, se debe tener un equilibrio entre la tensión y la intensidad de los mismos. Por ello, se estudiará si es conveniente su conexión en serie, en paralelo o mixta.

- Conexión en serie

Si se utiliza este tipo de conexión, se conectarán todos los paneles uno seguido de otro, uniendo el polo positivo con el polo negativo de la siguiente placa y así sucesivamente.

El voltaje se suma mientras que la corriente permanece constante durante todo el circuito.

Este tipo de conexiones se suelen utilizar cuando la potencia máxima de los módulos es superior a 200W y la tensión es de 24V o 48V[60].

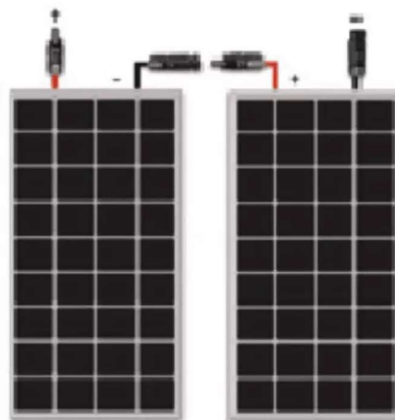


Figura 32: Esquema conexión en serie[61]

- Conexión en paralelo

En este tipo de conexión, se conectan los polos positivos de todos los paneles por una parte y los polos negativos de todos los paneles por otra.

La intensidad será la suma de todas las intensidades de los diferentes paneles mientras que la tensión permanece constante en todos[60].

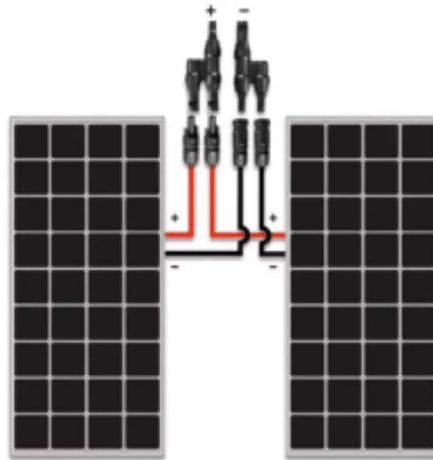


Figura 33: Esquema conexión en paralelo[61]

- Conexión mixta

Este tipo de conexiones se suelen implementar cuando es conveniente aumentar la tensión y la intensidad de la instalación[60].

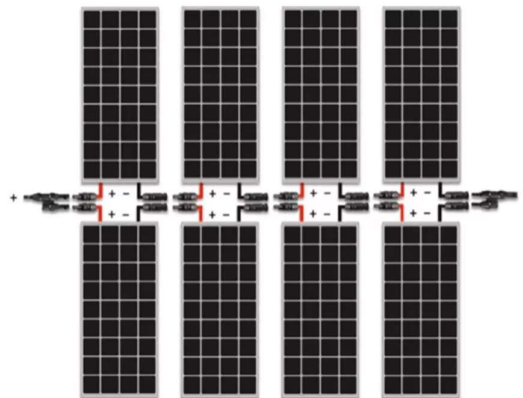


Figura 34: Esquema conexión serie-paralelo[61]

- Elección de conexionado

Debido a que la potencia de los paneles fotovoltaicos elegidos es menor de 190W, se utilizará la conexión en paralelo.

Para calcular el número de módulos es necesario conocer la tensión máxima y mínima de funcionamiento de los paneles.

que hay que disponer en paralelo, se realizan los siguientes cálculos:

$$N_{serie} = \frac{V_{min\ inv}}{V_{min\ panel}} = \frac{320}{24,6} = 12,9 \approx 13$$

$$N_{serie} = \frac{V_{max\ inv}}{V_{max\ panel}} = \frac{800}{30,6} = 26,14 \approx 27$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_{total\ paneles}}{N_{serie}} = \frac{70}{13} = 5,38 \approx 6$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_{total\ paneles}}{N_{serie}} = \frac{70}{27} = 2,59 \approx 3$$

Por lo que las dos posibles configuraciones para la instalación del proyecto serán:

6 ramas en paralelo con 13 paneles por rama → 78 placas

3 ramas en paralelo con 27 paneles por rama → 81 placas

Se elige la configuración con 78 placas y los excedentes de energía eléctrica producida se utilizarán para cumplir el 25% de la demanda que no se ha tenido en cuenta para los cálculos.

En el ANEXO IV se puede ver como se instalarán los paneles y el inversor sobre el tejado.

14. Estudio de viabilidad económica

Para saber si la instalación propuesta sale rentable o no, es necesario realizar el estudio de viabilidad económica.

Para ello, en primer lugar, se calcularán los costes totales de la instalación. Los gastos a tener en cuenta son:

14.1. Coste de los elementos de la instalación

Elemento	Cantidad	Coste unitario	COSTE
Módulos	78	57,475€	4483,05€
Inversor	1	2690€	2690€
Soporte	16	170,56€	2728,96€
Medidor bidireccional	1	89,95€	89,95€
TOTAL		9991,96€	

Tabla 13: Coste elementos de la instalación. Elaboración propia

14.2. Coste de la instalación de los dispositivos

La instalación tanto de los módulos como del resto de los elementos necesarios debe ser realizada por profesionales. La complejidad y duración de este proceso dependerá del número de placas que haya que instalar y de las condiciones de la superficie donde haya que situarlas.

Para este proceso, y dado que el cueste ser de 600€-1200€, se ha decido estimar que el coste total de la instalación de los dispositivos sea de 800€[62].

14.3. Coste de mantenimiento

Este proceso consta de dos partes, la limpieza y la revisión de los diferentes dispositivos.

El coste del mantenimiento depende de la ubicación de la instalación, es decir, si se encuentran situadas en lugares de difícil acceso o a gran altura; del tamaño del sistema de paneles fotovoltaicos, cuantas más placas, más mano de obra se necesitará para el mantenimiento; y otros servicios, como la reparación en caso de que se encontrara algún fallo[63].

Este proceso tiene un coste medio de 1000€ anuales, si se trata de una instalación de un gran número de placas solares, como es el caso de la vivienda estudiada.

14.4. Coste legalización de la instalación

La legalización de la instalación es el proceso por el cual la administración pública verifica que la instalación fotovoltaica cumple con las normativas vigentes. Los requisitos que esta tiene que cumplir, se encuentran redactados en el Real Decreto 842/2002, en el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión[64].

El precio de legalización es de aproximadamente 150€.

14.5. Coste Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO)

El ICIO es un impuesto de carácter potestativo y se aplica a cualquier construcción, instalación y obra que requiera de una licencia y cuya expedición de esta corresponda al ayuntamiento. El ayuntamiento es el que determina en las ordenanzas fiscales la regulación del tributo, y por tanto, el plazo de pago y el régimen de liquidación[65].

El importe a pagar es el 4% del coste del material empleado para la instalación. En este caso:

$$\text{Coste} = 9191,04 * 0,04 = 367,64\text{€}$$

14.6. Coste retirada instalación fotovoltaica

Este coste cada vez es de una mayor magnitud debido a que se generan desechos que no se pueden reciclar.

Se prevé que para 2050, los residuos generados por paneles solares lleguen a ser millones de toneladas. Esto se debe a que además de las placas que han llegado al fin de su vida útil, las placas defectuosas o dañadas también se retiran provocando así que se generen residuos innecesarios[66].

El coste de retirada ronda los 400€.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes costes nombrados con anterioridad a lo largo de la vida útil de las placas solares:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL	
Coste elementos	9991,96									2690					90					2690							5469,95
Coste instalación	800																										800
Coste mantenimiento		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	24000
Coste legalización	150																										150
Coste ICIO	367,54																										367,54
Coste retirada																									400	400	
TOTAL																											31187,49

Tabla 14: Costes de la instalación. Elaboración propia

Una vez que se conocen todos los costes de la instalación, es importante conocer el presupuesto base de licitación. Este concepto se define como el límite máximo de gasto que en virtud del contrato puede comprometer el órgano de contratación, incluido el impuesto sobre el Valor Añadido, salvo disposición en contrario. Según la Resolución n.º 945/2021 de 30 de julio de 2021 del Tribunal Administrativo Central de Recursos Contractuales, recursos n.º 416 y 448/2021 C.A Principado de Asturias 25 y 29/2021, el presupuesto base de la licitación debe hacer referencia a los siguientes costes[67]:

$$PBL = \text{costes (directos e indirectos)} + \text{beneficio industrial} + \text{IGIC}$$

- Costes directos

Este tipo de gasto tiene una relación directa con la producción. Entre estos costes se encuentran los elementos de la instalación y los salarios de las personas especializadas que se encargan de colocar los paneles solares junto con el resto de los componentes. La cantidad a pagar asociada a los costes directos es la que se encuentra en la *Tabla 15*.

- Costes de carácter indirecto que se pueden derivar a la ejecución del contrato

Los costes indirectos son aquellos que afectan al proceso productivo. En relación a este proyecto, el único coste indirecto son los honorarios de ingeniería. El honorario es el pago o retribución económica efectuada a quien realiza de forma independiente una labor para una persona o una empresa. Esta cantidad, en este caso, es del 6% del total del coste del proyecto.

- Beneficio industrial

El beneficio industrial corresponde con aquella parte del beneficio final que obtiene el contratista o empresario, los gastos generales y coste de ejecución material. Su valor porcentual es del 6%.

- IGIC

Este término hace referencia a la carga fiscal que grava las entregas de bienes y prestaciones de servicios, con carácter oneroso, realizadas por profesionales y empresarios. Este impuesto se suele nombrar también como IVA (Impuesto de Valor Añadido) y su valor porcentual es del 21%.

En la *Tabla 15*, se recogen las diferentes partes del presupuesto base de licitación.

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	
Costes directos	
Módulos	4.483,05 €
Inversor	2.690 €
Soporte	2.728,96 €
Medidor bidireccional	89,95 €
Mano de obra	800,00 €
TOTAL	10.791,96 €
Costes indirectos	
Honorarios de ingeniería (6%)	647,52 €
TOTAL	647,52 €
Beneficio industrial	
Beneficio industrial (6%)	686,37 €
TOTAL	686,37 €
IGIC	
IVA (21%)	2.402,29 €
TOTAL	2.402,29 €
Presupuesto base de licitación=Costes (directos e indirectos) + BI+IGIC	14.528,14 €

Tabla 15: Presupuesto base de licitación. Elaboración propia

14.7. Ingresos

En primer lugar, para calcular la cifra de ingresos que se generan es necesario saber que, como se generará el 75% del consumo de energía eléctrica mediante los paneles solares, no será necesario pagar a la compañía eléctrica, por lo que esta cantidad al ser ahorrada, se considera un ingreso.

Además de esto, hay que tener en cuenta la subida en el precio de la energía eléctrica anual. Para conocer esta variación a lo largo de los años, es difícil realizar una estimación debido a la incertidumbre actual. En este caso, se ha realizado con una recta de regresión teniendo en cuenta los datos de años anteriores, y hay que tener en consideración que esta recta estará afectada por una alta dispersión debido a la situación mundial actual [68].

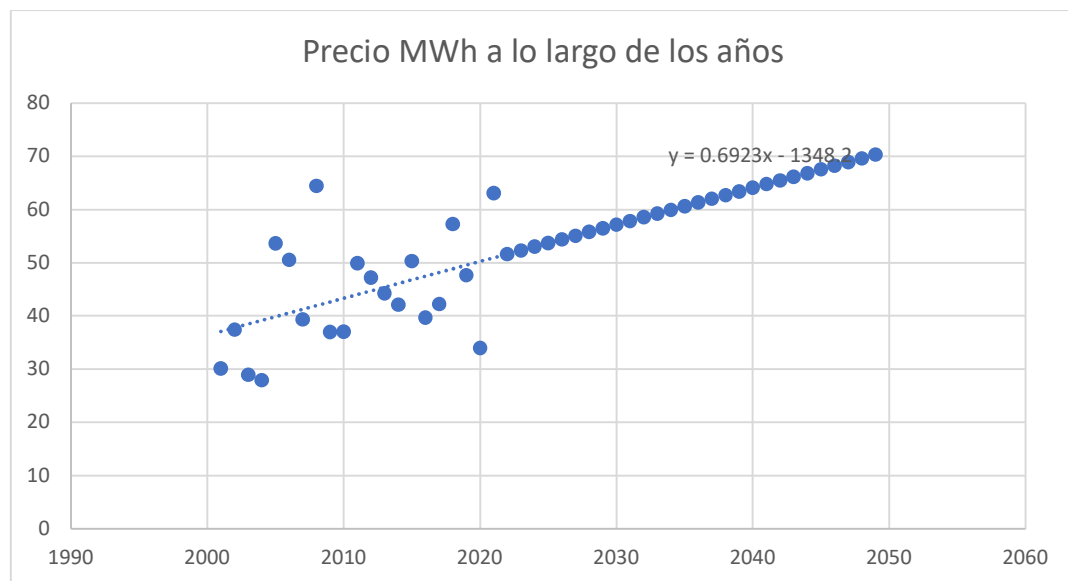


Figura 35: Precios electricidad en función de los años. Elaboración propia

Otro factor a tener en cuenta al calcular los ingresos que generan una instalación fotovoltaica es el porcentaje de degradación de las placas, que equivale a un 0,5% cada año.

Una vez se conocen todos estos datos, se calculan los ingresos, representados en la *Tabla 16*.

Año	Producción placas (75% consumo total)	% Degradación	Degradación acumulada	Producción placas real	Precio MWh [€]	Total [€]
2022	25.798,50	0,00%	0,00%	25.798,50	51,62	1.331,94
2023	25.798,50	0,50%	0,50%	25.669,51	52,32	1.343,04
2024	25.669,50	0,50%	1,00%	25.412,81	53,01	1.347,20
2025	25.541,15	0,50%	1,50%	25.158,04	53,70	1.351,11
2026	25.413,45	0,50%	2,00%	24.905,19	54,39	1.354,77
2027	25.286,38	0,50%	2,50%	24.654,23	55,08	1.358,19
2028	25.159,95	0,50%	3,00%	24.405,16	55,78	1.361,36
2029	25.034,15	0,50%	3,50%	24.157,96	56,47	1.364,29
2030	24.908,98	0,50%	4,00%	23.912,63	57,16	1.366,99
2031	24.784,43	0,50%	4,50%	23.669,14	57,85	1.369,45
2032	24.660,51	0,50%	5,00%	23.427,49	58,55	1.371,69
2033	24.537,21	0,50%	5,50%	23.187,67	59,24	1.373,70
2034	24.414,52	0,50%	6,00%	22.949,66	59,93	1.375,48
2035	24.292,45	0,50%	6,50%	22.713,45	60,62	1.377,05
2036	24.170,99	0,50%	7,00%	22.479,02	61,31	1.378,40
2037	24.050,13	0,50%	7,50%	22.246,38	62,01	1.379,53
2038	23.929,88	0,50%	8,00%	22.015,50	62,70	1.380,45
2039	23.810,23	0,50%	8,50%	21.786,37	63,39	1.381,16
2040	23.691,18	0,50%	9,00%	21.558,98	64,08	1.381,67
2041	23.572,73	0,50%	9,50%	21.333,32	64,78	1.381,98
2042	23.454,86	0,50%	10,00%	21.109,38	65,47	1.382,08
2043	23.337,59	0,50%	10,50%	20.887,15	66,16	1.381,99
2044	23.220,90	0,50%	11,00%	20.666,61	66,85	1.381,70

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

2045	23.104,80	0,50%	11,50%	20.447,75	67,54	1.381,22
2046	22.989,27	0,50%	12,00%	20.230,56	68,24	1.380,56
2047	22.874,33	0,50%	12,50%	20.015,04	68,93	1.379,70
TOTAL						35.616,72

Tabla 16: Tabla de ingresos. Elaboración propia

14.8. Gastos

Para calcular los gastos que se producirán durante los 25 años que suponen la vida útil de los paneles hay que tener en cuenta los siguientes factores además de la inversión inicial que no se tendrá en cuenta en este cálculo:

- Mantenimiento preventivo de los paneles fotovoltaicos

Este tipo de mantenimiento es el que se realiza, aunque no se haya producido ninguna avería o malfuncionamiento de las placas.

Las tareas que se llevan a cabo para el mantenimiento no preventivo son la limpieza de las placas solares, en la que se comprueba que no haya oxidaciones ni roturas en cada una de las partes de la instalación; la inspección visual de los paneles, para verificar que no haya grietas; y comprobar el estado de los soportes y los inversores[69].

- Mantenimiento técnico

Este tipo de mantenimiento es necesario que lo realice un especialista puesto que en ocasiones es necesario el corte del suministro eléctrico.

Las labores que hay que llevar a cabo para este tipo de mantenimiento son la comprobación del buen funcionamiento de los paneles, mediante el cual se comprueba la tensión en vacío y la intensidad de cortocircuito; comprobación de la toma a tierra de la instalación, para evitar derivaciones a otros elementos o a personas; mantenimiento del cuadro de distribución, en el que se comprobará la corriente que pasa por los cables; y finalmente el mantenimiento de la instalación interior[69].

Debido a que es una instalación que produce alrededor de 10kW, el coste de mantenimiento cada anual será de 170€. En la Tabla 17, se exponen los gastos.

Año	Mantenimiento [€]	Subida precio mantenimiento	Total [€]
2022	0,00	5%	0,00
2023	170,00	5%	170,00
2024	178,50	5%	178,50
2025	187,43	5%	187,43
2026	196,80	5%	196,80
2027	206,64	5%	206,64
2028	216,97	5%	216,97
2029	227,82	5%	227,82
2030	239,21	5%	239,21
2031	251,17	5%	251,17
2032	263,73	5%	263,73
2033	276,91	5%	276,91
2034	290,76	5%	290,76
2035	305,30	5%	305,30
2036	320,56	5%	320,56
2037	336,59	5%	336,59
2038	353,42	5%	353,42
2039	371,09	5%	371,09
2040	389,64	5%	389,64
2041	409,13	5%	409,13
2042	429,58	5%	429,58
2043	451,06	5%	451,06
2044	473,61	5%	473,61
2045	497,29	5%	497,29
2046	522,16	5%	522,16
2047	548,27	5%	548,27

TOTAL			8.113,61
--------------	--	--	-----------------

Tabla 17: Tabla de gastos. Elaboración propia

14.9. VAN

El VAN o Valor Actual Neto, es uno de los criterios de inversión más usados actualmente. Este, consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer las ganancias o pérdidas que se producirán. Para calcular el VAN, se traen todos los flujos de caja hasta el momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. La expresión que permite calcular este término es la siguiente[70]:

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

Donde F_t es el valor del flujo de caja en cada periodo t , I_0 es el valor del desembolso inicial, n es el número de periodos considerados y k es la tasa de descuento.

Suponiendo una tasa de descuento del 3% anual, se obtiene el siguiente resultado:

$$VAN = 7.216,99€$$

Como esta cifra es positiva, se puede decir que el proyecto es viable puesto que el valor actual de los flujos es mayor que la inversión inicial.

14.10. TIR

La TIR o Tasa Interna de Rentabilidad de una inversión, es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión. Este es otro indicador de la rentabilidad, y cuanto mayor sea la TIR, más rentable será el proyecto. Para su cálculo se utiliza la siguiente expresión[71]:

$$TIR = \frac{-I_0 + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n (i * F_i)}$$

Donde I_0 es el valor inicial de la inversión y F_i el flujo de caja en cada periodo i .

Realizando los cálculos oportunos se obtiene el siguiente valor:

$$TIR = 7,9\%$$

Como la tasa utilizada para calcular el VAN es del 3% y $7,9 > 3$, el proyecto será viable ya que la tasa de rendimiento obtenida es mayor que la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.

14.11. Levelized cost of energy

Este indicador es valor del coste total al construir y mantener en funcionamiento una instalación que genera energía a lo largo de toda su vida útil. Su función es comparar directamente los costes de distintas fuentes de energía. Para calcularlo hay que hacerlo mediante la siguiente expresión[72]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{It + Mt + Ft}{(1+k)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+k)^t}}$$

Donde Et es la generación de energía cada año, Mt son los costes de operación y mantenimiento totales, Ft es el combustible utilizado durante un año, It los gastos de inversión anuales y k la tasa de descuento.

Sustituyendo los datos en la expresión anterior se obtiene:

$$LCOE = 0,04055 \text{ €/kWh}$$

15. Seguridad y salud

Desde la aprobación del Real Decreto 1627/1997, en el cual se define el Estudio de Seguridad y Salud en el Trabajo, a la hora que llevar a cabo un proyecto hay que tener en cuenta una serie de medidas y realizar un Estudio Básico de Seguridad y Salud si:

- El presupuesto del proyecto supera los 450.000€.
- Si en el proyecto se necesitan más de 20 personas trabajando simultáneamente durante más de 30 días.
- Si durante la instalación y puesta en marcha del proyecto, el personal trabaja más de 500 horas.

- Si se trata de túneles, presas o conducciones subterráneas.

En el caso de este proyecto no será necesario realizar el Estudio Básico de Seguridad y Salud debido a que no se cumplen ninguna de las condiciones mencionadas anteriormente.

15.1 Riesgos generales

Algunos de los riesgos a tener en cuenta que pueden afectar directamente al personal que instala el sistema de placas fotovoltaicas son:

- Daños por descargas eléctricas
- Heridas en manos o pies por manejo de herramientas
- Caída de elementos peligrosos de la instalación sobre personal
- Quemaduras por contacto térmico
- Caída de personas
- Golpes contra elementos de la instalación
- Sobreesfuerzos

15.2 Medidas de protección

Para poder evitar los daños que se pueden producir al ocurrir los sucesos mencionados anteriormente es necesario adoptar una serie de medidas preventivas.

Para hacer la obra se deberán seguir las siguientes medidas:

- Línea de vida para cada trabajador
- Redes que impidan la caída de personas
- Escaleras de mano
- Andamios metálicos

Los trabajadores de la obra deberán llevar las siguientes protecciones:

- Botas de seguridad
- Guantes aislantes
- Casco de polietileno
- Comprobador de tensión
- Herramientas aislantes

16. Conclusión

El objetivo de este proyecto era lograr la eficiencia energética del edificio mediante el uso de energías renovables.

En primer lugar, se consideró que esta alternativa de obtención de energía era muy conveniente debido a la situación mundial actual.

Para conseguir esto, se estudiaron las diferentes alternativas de implantación de energías renovables en viviendas y finalmente se llegó a la conclusión de que la mejor opción debido a las condiciones y la localización era el uso de placas fotovoltaicas situadas en el tejado del edificio.

En concreto, se instalarán 78 paneles solares del 190W cada uno además de un inversor string de 12500W, para lograr cubrir el 75% de demanda de energía eléctrica del edificio.

Tras la elección de los diferentes elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación se tuvo en cuenta la latitud de la región de Valladolid, así como la temperatura para decidir la orientación y la inclinación más conveniente para los módulos.

Una vez que se conocían todos los datos precisos para llevar a cabo el proyecto, se estudió la viabilidad. Los resultados que se obtuvieron indican que el proyecto generará ingresos y que por tanto será rentable. Se obtuvieron un VAN de 7.216,99 € y una TIR del 7,9%.

La inversión inicial que se deberá hacer es de 12.125,85 €, y conociendo los flujos de caja de cada año, se observó que se empezarán a generar ingresos a partir del año número 12.

Teniendo en cuenta la situación actual, en la que hay una gran incertidumbre sobre el precio de la energía eléctrica, es posible que su precio en el futuro sea mayor de lo que se ha estimado, y por ello se generarán más ingresos y el VAN y la TIR serán más altos.

Como se mencionó previamente, este tipo de instalaciones en viviendas además de generar un ahorro en la factura de la luz tiene otros beneficios como el consumo de energía verde, que favorece la desaparición de gases nocivos o el incremento del valor de la propiedad, que hacen que sea una buena alternativa a la obtención de energía convencional.

Por ello, es necesario que el uso de energías renovables en los hogares aumente.

17. Bibliografía

- [1] “El problema energético mundial. Energías renovables y cambio climático – Revista Energy Management.” <https://e-management.mx/2019/11/16/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [2] “La importancia de las energías renovables | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL.” https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=02021864894 (accessed Jul. 07, 2022).
- [3] “¿Cómo lograr un sistema global con 100% de energías renovables? | Ecología | DW | 14.04.2019.” <https://www.dw.com/es/c%C3%B3mo-lograr-un-sistema-global-con-100-de-energ%C3%ADas-renovables/a-48319056> (accessed Jul. 07, 2022).
- [4] “• Solar fotovoltaica: autoconsumo en España 2020 | Statista.” <https://es.statista.com/estadisticas/1184253/solar-fotovoltaica-interes-en-el-autoconsumo-espana/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [5] P. J. D’Anieri, “Ukraine and Russia : from civilized divorce to uncivil war,” p. 282.
- [6] “Las consecuencias de la guerra entre Ucrania y Rusia.” https://www.abc.es/internacional/abci-consecuencias-guerra-ucrania-rusia-nsv-202203101732_noticia.html (accessed Jul. 07, 2022).
- [7] “El precio del gas se dispara un 18% ante el temor a la guerra con Rusia.” <https://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/11582111/01/22/El-precio-del-gas-se-dispara-un-18-ante-el-temor-a-la-guerra-con-Rusia.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [8] “Conflicto Marruecos-Argelia: papel de España y escenarios a medio plazo. Global Affairs. Universidad de Navarra.” <https://www.unav.edu/web/global-affairs/conflicto-marruecos-argelia-papel-de-espana-y-escenarios-a-medio-plazo> (accessed Jul. 07, 2022).
- [9] “España desafía a Argelia al disparar las compras de gas estadounidense | Política.” <https://www.expansion.com/economia/politica/2022/04/12/62548f42e5fdea520c8b4595.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [10] “Medidas del Gobierno para reducir el impacto del precio luz.” <https://watiofy.com/info/blog/actualidad/medidas-gobierno-para-reducir-impacto-subida-precio-de-la-luz/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [11] “El precio de la electricidad cierra en España su peor año | Mercados | Cinco Días.” https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/12/30/mercados/1640874678_487352.html (accessed Jul. 07, 2022).
- [12] “Energías renovables | Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Gobierno de España.” <https://planderecuperacion.gob.es/politicas-y-componentes/componente-7-despliegue-e-integracion-de-energias-renovables> (accessed Jul. 07, 2022).
- [13] “Vectores e ilustraciones de Inversor solar para descargar gratis | Freepik.” <https://www.freepik.es/vectores/inversor-solar> (accessed Jul. 07, 2022).
- [14] “Aplicaciones de nuestros Aerogeneradores para autoconsumo.” <https://www.enair.es/es/aplicaciones> (accessed Jul. 07, 2022).
- [15] “Biomasa para ACS, calefacción y refrigeración de viviendas.” <https://www.certificadosenergeticos.com/biomasa-ac-calefaccion-refrigeracion-viviendas> (accessed Jul. 07, 2022).

- [16] “¿Sabes lo que es la Aerotermia? Lo nuevo en Climatización, con Lasser.”
<https://grupolasser.com/aerotermia-lo-nuevo-en-climatizacion/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [17] “¿Qué es la eficiencia energética y cómo se calcula?”
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [18] “¿Cuáles son los componentes de una instalación fotovoltaica?”
<https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes> (accessed Jul. 07, 2022).
- [19] “Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica (Autoconsumo Fotovoltáico) - Blog Ecofener.” <https://ecofener.com/blog/instalaciones-fotovoltaicas-conectadas-a-la-red-electrica-autoconsumo-fotovoltaico/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [20] “¿Qué instalaciones solares de autoconsumo existen? | DIREENERGY ☀️.”
<https://www.direnergy.net/index.php/blog/tipos-instalaciones-solares/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [21] “Energía solar Mallorca, fotovoltaica - Cial Mascaró - Manacor.”
<https://www.comercialmascaro.com/productos/energia-solar-mallorca-fotovoltaica> (accessed Jul. 07, 2022).
- [22] “¿Qué son los paneles solares, cómo funcionan y cuál es su futuro?”
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [23] “¿CÓMO FUNCIONAN LOS PANELES SOLARES? - TUVATIO.”
<https://tuvatio.es/blog/como-funcionan-paneles-solares/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [24] “¿Cómo funcionan los paneles solares? | Endesa.”
<https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funcionan-los-paneles-solares> (accessed Jul. 07, 2022).
- [25] “Tipos de Placas Solares ☀️ SunFields.” <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-de-placas-solares/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [26] “Inversores solares: ¿Qué tipos hay y cómo funcionan? - Energya.”
<https://www.energyavm.es/inversores-solares-que-tipos-hay-y-como-funcionan/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [27] “Inversores solares: ¿qué son? ¿qué tipos hay? :: Te ayudamos con las especificaciones técnicas para escojas un inversor sabiendo lo que compras ☀️ SotySolar.”
<https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos> (accessed Jul. 07, 2022).
- [28] “Ingeteam lanza su nuevo inversor de string con tecnología de 1.500 Vdc – pv magazine España.” <https://www.pv-magazine.es/2019/10/09/ingeteam-lanza-su-nuevo-inversor-de-string-con-tecnologia-de-1-500-vdc/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [29] “Microinversor para Panel Solar Fotovoltáico 600W | Argieder.”
<https://argieder.es/producto/microinversor-para-panel-solar-fotovoltaico-600w> (accessed Jul. 07, 2022).
- [30] “Tigo lanza un optimizador para módulos de alta potencia – pv magazine Latin America.” <https://www.pv-magazine-latam.com/2021/03/30/tigo-lanza-un-optimizador-para-modulos-de-alta-potencia/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [31] “¿Cuáles son las mejores baterías para placas solares? - Blog de energía solar.”
<https://solarplak.es/energia/cuales-son-las-mejores-baterias-para-placas-solares/> (accessed Jul. 07, 2022).

- [32] “▷ Comprar Batería Monoblock ☀️ ¡OFERTA! - ENVIO GRATIS - SOLARMAT.”
<https://solarmat.es/es/baterias/bateria-monoblock/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [33] “Batería Estacionaria Hoppecke 12V 1200Ah 80PzS800 | AutoSolar.”
<https://autosolar.es/baterias-estacionarias-opzs-12v/bateria-estacionaria-hoppecke-12v-1200ah-80pzs800> (accessed Jul. 07, 2022).
- [34] “¿Qué es un regulador de carga? | Blog AutoSolar.” <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga> (accessed Jul. 07, 2022).
- [35] “Controlador Solar PWM de Carga y Descarga 60A 12/24V.”
<https://www.bmasdigital.com/controlador-epsolar-pwm-60a-epever-VS6024AU>
(accessed Jul. 07, 2022).
- [36] “CONTROLADOR DE CARGA SOLAR MPPT 100/30 PANTALLA.”
<https://varisolar.es/cargadores-de-baterias-solares/controlador-de-carga-solar-mppt-100-30-pantalla> (accessed Jul. 07, 2022).
- [37] “Contador bidireccional: ¿Qué es y cómo funciona?”
<https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/contador-bidireccional> (accessed Jul. 07, 2022).
- [38] “Medidor IUSA trifásico - Panel Solar de 360 watts, instalado y trabajando con ‘microinversores’ \$8990 c/u.” <https://refaccionariasolar.mx/producto/medidor-iusa-trifasico/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [39] “Real Decreto 244/2019 – Autoconsumo.” <https://autoconsumo.unef.es/real-decreto-244-2019/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [40] “RD 244/2019 : Normativa para autoconsumo en España.”
<https://selectra.es/autoconsumo/info/normativa> (accessed Jul. 07, 2022).
- [41] “Tarifa 3.0 TD luz: horario, precio y ventajas | Julio 2022.”
<https://energia.roams.es/luz/tarifa-3-0-a/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [42] “Hora solar pico - Wikipedia, la enciclopedia libre.”
https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico (accessed Jul. 07, 2022).
- [43] “Radiación solar en España - Efimarket.” <https://www.efimarket.com/blog/radiacion-solar-en-espana/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [44] “Página no encontrada - Queremos Verde.” <https://queremosverde.com/inercal-calefaccion-solar-produce-calor-sin-consumir-energia/mapa-radiacion-solar-espa%C3%B1a/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [45] “ORIENTACION PLACAS.” <https://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/36618-orientacion-placas.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [46] “Orientación e Inclinación de las Placas Solares.” <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/orientacion-e-inclinacion-placas-solares/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [47] “¿Cómo configurar el azimut y el ángulo de inclinación para mejorar la generación de energía solar?” <https://www.bingsolar.com/es/azimuth-and-tilt-for-solar/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [48] “Orientación e Inclinación de los Paneles Solares Fotovoltaicos.”
<https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [49] “Comparación de inversores | Enphase.” <https://www4.enphase.com/es-es/products-and-services-microinverter-comparison-comparacion-de-inversores> (accessed Jul. 07, 2022).
- [50] “El tiempo en Disneyland París. Clima. Lluvia. Datos meteorología.”
<https://monparigo.com/disneyland-paris/tiempo> (accessed Jul. 07, 2022).

- [51] “Comparativa definitiva de inversores para placas solares :: Desglosamos los mejores inversores del mercado para facilitar tu salto a la energía fotovoltaica 🌞 SotySolar.” <https://sotysolar.es/placas-solares/comparar-inversores> (accessed Jul. 07, 2022).
- [52] “MICRO INVERSORES VS. OPTIMIZADORES DE POTENCIA ».” <https://www.cambioenergetico.com/blog/micro-inversores-vs-optimizadores-de-potencia/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [53] “Calcular placas solares necesarias para instalación aislada 🌞 SunFields.” <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calcular-paneles-solares-necesarios-para-sistemas-aislados/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [54] “YUBASOLAR: FACTORES DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS FOTOVOLTAICAS.” <http://www.yubasolar.net/2015/03/factores-de-perdidas-energeticas.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [55] M. Coello and L. Boyle, “Simple Model for Predicting Time Series Soiling of Photovoltaic Panels,” *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 9, no. 5, pp. 1382–1387, Sep. 2019, doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2919628.
- [56] “El Libro Sobre Excel Que No Escribiré Nunca: Perdidas por orientación e inclinación.” <http://ellibrosobreexcelquenoescibirenunca.blogspot.com/2012/01/perdidas-por-orientacion-e-inclinacion.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [57] “¿COMO INFLUYE LA TEMPERATURA EN EL RENDIMIENTO DE UNA PLACA SOLAR?” <https://www.cambioenergetico.com/blog/influye-la-temperatura-rendimiento-placa-solar/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [58] “Pérdidas por Sombras - Eficiencia Energética.” <https://certificacionenergetica.info/perdidas-por-sombras/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [59] “aleo solarmodul aleo s_17”, Accessed: Jul. 07, 2022. [Online]. Available: www.photovoltaiik-web.de
- [60] “Paneles solares: instalación en serie o paralelo 🌞 SotySolar.” <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/serie-o-paralelo> (accessed Jul. 07, 2022).
- [61] “¿Cómo conectar paneles solares en serie o en paralelo?” <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/conectar-placas-solares-serie-paralelo/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [62] “🌱 Cuanto cuesta instalar Placas Solares en una Vivienda.” <https://www.solideo.es/cuanto-cuesta-poner-placas-solares-en-una-vivienda/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [63] “¿Cuánto cuesta el mantenimiento de placas solares? - Habitissimo.” <https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-mantenimiento-placas-solares> (accessed Jul. 07, 2022).
- [64] “BOE.es - BOE-A-2002-18099 Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.” <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099> (accessed Jul. 07, 2022).
- [65] “ICIO - Impuesto sobre construcciones, instalaciones y obras.” <https://www.base.cat/web/es/ciudadans/Informe-vos/TributsAltres/ICIO/ICIO.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [66] ““Nos obligan a retirar unas placas fotovoltaicas un año después de haberlas instalado.”” <https://www.elperiodico.com/es/entre-todos/participacion/obligan-retirar-placas-fotovoltaicas-ano-13153117> (accessed Jul. 07, 2022).

- [67] “Valor estimado, presupuesto base y precio de la licitación: tres conceptos que no pueden confundirse -.” <https://administrativando.es/valor-estimado-presupuesto-base-y-precio-de-la-licitacion-tres-conceptos-que-no-pueden-confundirse/> (accessed Jul. 07, 2022).
- [68] “La luz marca mañana el precio más alto de la historia: más de 106 euros el megavatio hora.” <https://www.larazon.es/economia/20210720/cvqfytpo5g3hozexxueeyqpna.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [69] “Mantenimiento placas solares.” <https://www.hogarsense.es/placas-solares/mantenimiento-placas-solares> (accessed Jul. 07, 2022).
- [70] “Valor actual neto (VAN) - Qué es, definición y significado | 2022 | Economipedia.” <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [71] “Tasa interna de retorno (TIR) | 2022 | Economipedia.” <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html> (accessed Jul. 07, 2022).
- [72] “¿Qué es el Levelized Cost of Energy (LCOE)? - Energya.” <https://www.energyavm.es/que-es-el-levelized-cost-of-energy-lcoe/> (accessed Jul. 07, 2022).

ANEXOS

ANEXO I: Ficha técnica de los módulos

aleo	
Technische Daten	Leistungsklasse 190 W
Bezeichnung	aleo S_17 190
Daten bei 1.000 W/m ² (STC) ¹	
Nennleistung	P _{MPP} 190 W
Nennstrom	I _{MPP} 7,72 A
Nennspannung	U _{MPP} 24,6 V
Kurzschlussstrom	I _{SC} 8,44 A
Leerlaufspannung	U _{OC} 30,6 V
Leistungsspezifischer Flächenbedarf	A _p 7,25 m ² /kWp
Wirkungsgrad ³	η(eta) 13,8%
Daten bei 800 W/m ² (NOCT) ²	
Leistung	P _{MPP} 143 W
Strom	I _{MPP} 6,27 A
Spannung	U _{MPP} 22,8 V
Kurzschlussstrom	I _{SC} 6,85 A
Leerlaufspannung	U _{OC} 28,0 V
Wirkungsgrad ³	η(eta) 13,0%
Klassenbreite (positive Klassifizierung)	-0 W/+4,99 W
Messgenauigkeit P _{MPP}	-3%/+3%
Max. Systemspannung	1.000 V DC
Zulässige Modulbelastung ⁴	5.400 Pa

Weitere Angaben		
Temperaturkoeffizienten	$\alpha (I_{SC})$	+0,03%/K
	$\beta (U_{OC})$	-0,34%/K
	$\gamma (P_{MPP})$	-0,48%/K
Zertifizierung	IEC/EN 61215, IEC/EN 61730 und Schutzklasse II	
Prüfstelle	VDE	
Modulabmessungen	1660 x 830 x 50 mm	
Gewicht	17 kg	

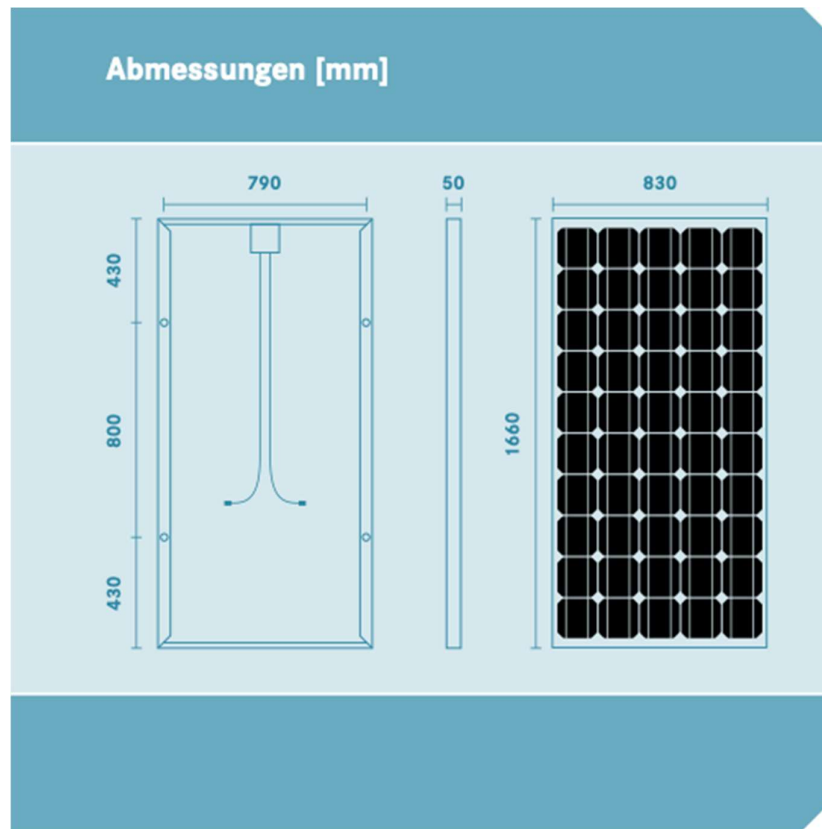
Reduktion des Wirkungsgrades		< 6%
von 1.000 W/m ² auf 200 W/m ²		
Rückstrombelastbarkeit	I _R	15 A
NOCT	47°C	
Leistungsgarantie	10 Jahre: 90%, 25 Jahre: 80%	

Mai 2009 | aleo solar

VDE Prüfinstitut







ANEXO II: Ficha técnica inversor

DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

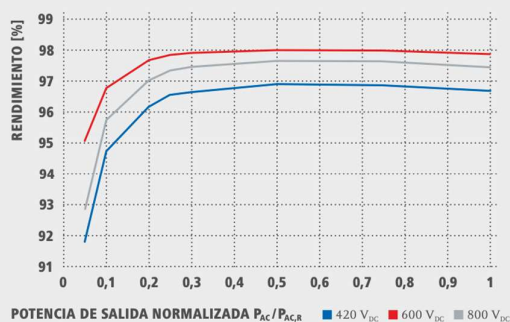
DATOS DE ENTRADA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max.1} / I_{dc\ max.2}$)	27 A / 16,5 A ¹⁾			33 A / 27 A	
Máxima corriente de entrada total utilizada ($I_{dc\ max.1} + I_{dc\ max.2}$)	43,5 A			51,0 A	
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV (MPP ₁ / MPP ₂)	40,5 A / 24,8 A			49,5 A / 40,5 A	
Mínima tensión de entrada ($U_{dc\ mín.}$)			200 V		
Tensión CC mínima de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)			200 V		
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,r}$)			600 V		
Máxima tensión de entrada ($U_{dc\ máx.}$)			1.000 V		
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ mín.} - U_{mpp\ máx.}$)	270 - 800 V	320 - 800 V		370 - 800 V	420 - 800 V
Número de seguidores MPP			2		
Número de entradas CC			3+3		
Máxima salida del generador FV ($P_{dc\ máx.}$)	15,0 kW peak	18,8 kW peak	22,5 kW peak	26,3 kW peak	30,0 kW peak
DATOS DE SALIDA	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	10.000 W	12.500 W	15.000 W	17.500 W	20.000 W
Máxima potencia de salida	10.000 VA	12.500 VA	15.000 VA	17.500 VA	20.000 VA
Máxima corriente de salida ($I_{ac\ máx.}$)	14,4 A	18,0 A	21,7 A	25,3 A	28,9 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)			3-NPE 400 V / 230 V o 3-NPE 380 V / 220 V (+20 % / -30 %)		
Frecuencia (rango de frecuencia)			50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Coefficiente de distorsión no lineal	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac,r}$)			0 - 1 ind. / cap.		
DATOS GENERALES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)			725 x 510 x 225 mm		
Peso		34,8 kg		43,4 kg	
Tipo de protección			IP 66		
Clase de protección			1		
Categoría de sobretensión (CC / CA) ²⁾			1 + 2 / 3		
Consumo nocturno			< 1 W		
Concepto de inversor			Sin Transformador		
Refrigeración			Refrigeración de aire regulada		
Instalación			Instalación interior y exterior		
Margen de temperatura ambiente			-40 - +60 °C		
Humedad de aire admisible			0 - 100 %		
Máxima altitud			2.000 m / 3.400 m (rango de tensión sin restricciones / con restricciones)		
Tecnología de conexión CC			6 x CC+ y 6 x CC bornes roscados 2,5 - 16 mm ²		
Tecnología de conexión principal			5 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ²		
Certificados y cumplimiento de normas			ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097		

¹⁾ 14,0 A para tensiones < 420 V

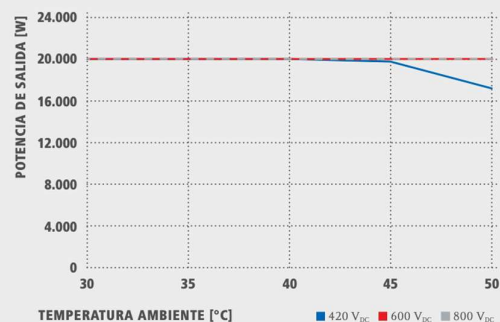
²⁾ De acuerdo con IEC 62109-1. Disponible rail DIN opcional para tipo 1 + 2 y tipo 2 de protección de sobretensión.

Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

CURVA DE RENDIMIENTO FRONIUS SYMO 20.0-3-M



REDUCCIÓN DE TEMPERATURA FRONIUS SYMO 20.0-3-M



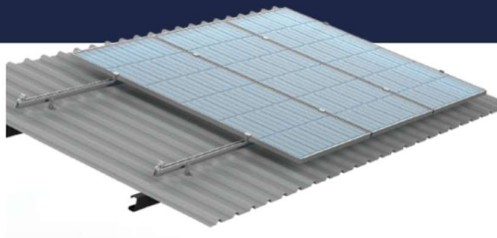
DATOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

RENDIMIENTO	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Máximo rendimiento	98,0 %		98,1 %		
Rendimiento europeo (η_{EU})	97,4 %	97,6 %	97,8 %	97,8 %	97,9 %
η con 5 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	87,9 / 92,5 / 89,2 %	88,7 / 93,1 / 90,1 %	91,2 / 94,8 / 92,3 %	91,6 / 95,0 / 92,7 %	91,9 / 95,2 / 93,0 %
η con 10 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	91,2 / 94,9 / 92,8 %	92,9 / 96,1 / 94,6 %	93,4 / 96,0 / 94,4 %	94,0 / 96,4 / 95,0 %	94,8 / 96,9 / 95,8 %
η con 20 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	94,6 / 97,1 / 96,1 %	95,4 / 97,3 / 96,6 %	95,9 / 97,4 / 96,7 %	96,1 / 97,6 / 96,9 %	96,3 / 97,8 / 97,1 %
η con 25 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	95,4 / 97,3 / 96,6 %	95,6 / 97,6 / 97,0 %	96,2 / 97,6 / 97,0 %	96,4 / 97,8 / 97,2 %	96,7 / 97,9 / 97,4 %
η con 30 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	95,6 / 97,5 / 96,9 %	95,9 / 97,7 / 97,2 %	96,5 / 97,8 / 97,3 %	96,6 / 97,9 / 97,4 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
η con 50 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	96,3 / 97,9 / 97,4 %	96,4 / 98,0 / 97,5 %	96,9 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %
η con 75 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 98,0 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,8 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %
η con 100 % $P_{ac,r}$ ¹⁾	96,5 / 98,0 / 97,6 %	96,5 / 97,8 / 97,6 %	97,0 / 98,1 / 97,7 %	96,9 / 98,1 / 97,6 %	96,8 / 98,0 / 97,6 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %				
EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Medición del aislamiento CC	Sí				
Comportamiento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia				
Seccionador CC	Sí				
Protección contra polaridad inversa	Sí				
INTERFACES	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 inputs digitales y 4 inputs/outputs digitales	Interface receptor del control de onda				
USB (Conector A) ²⁾	Datalogging, actualización de inversores vía USB				
2 conectores RJ 45 (RS422) ²⁾	Fronius Solar Net				
Salida de aviso ²⁾	Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)				
Datalogger y Servidor web	Incluido				
Input externo ²⁾	Interface SO-Meter / Input para la protección contra sobretensión				
RS485	Modbus RTU SunSpec o conexión del contador				

¹⁾ Y con $U_{mpp \min.} / U_{dc,r} / U_{mpp \max.}$ ²⁾ También disponible en la versión light.

ANEXO III: Ficha técnica soportes

Ficha técnica: L feet



Especificaciones

Materiales: aluminio anodizado 6005 T5
Acero inoxidable 304

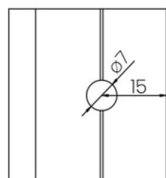
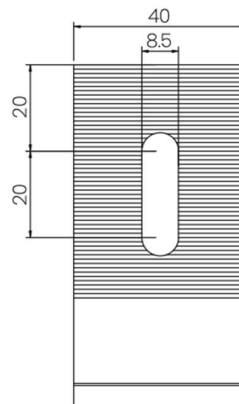
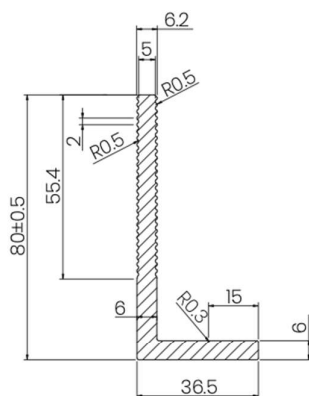
Velocidad del viento: hasta 45 m/s

Carga de nieve: hasta 50 cm

Accesorios

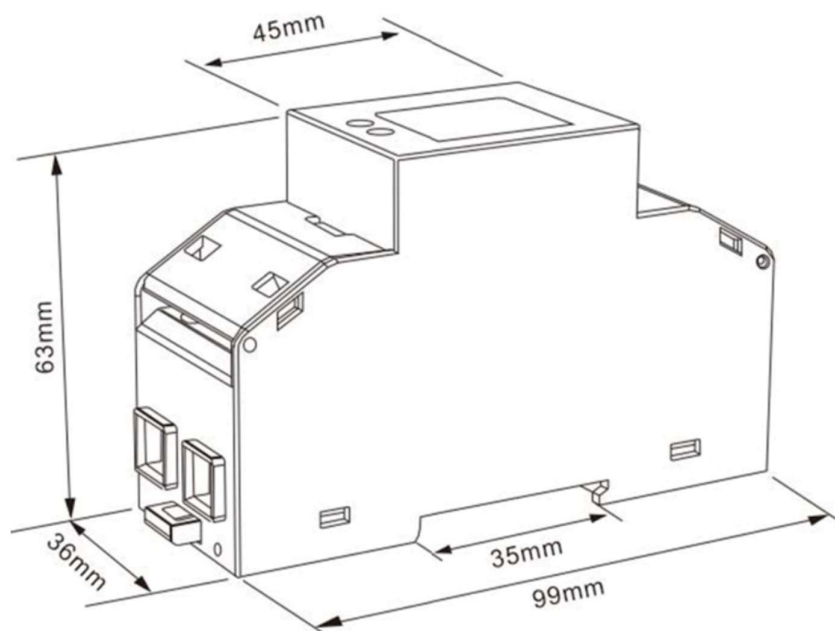
Cantidad/ paneles	L feet	Rail	Empalme de rail	Abrazadera intermedia	Abrazadera final
1 panel	4	2	-	-	4
2 paneles	6	4	2	2	4
3 paneles	8	6	4	4	4
4 paneles	8	8	6	6	4
5 paneles	10	10	8	8	4
6 paneles	12	12	10	10	4

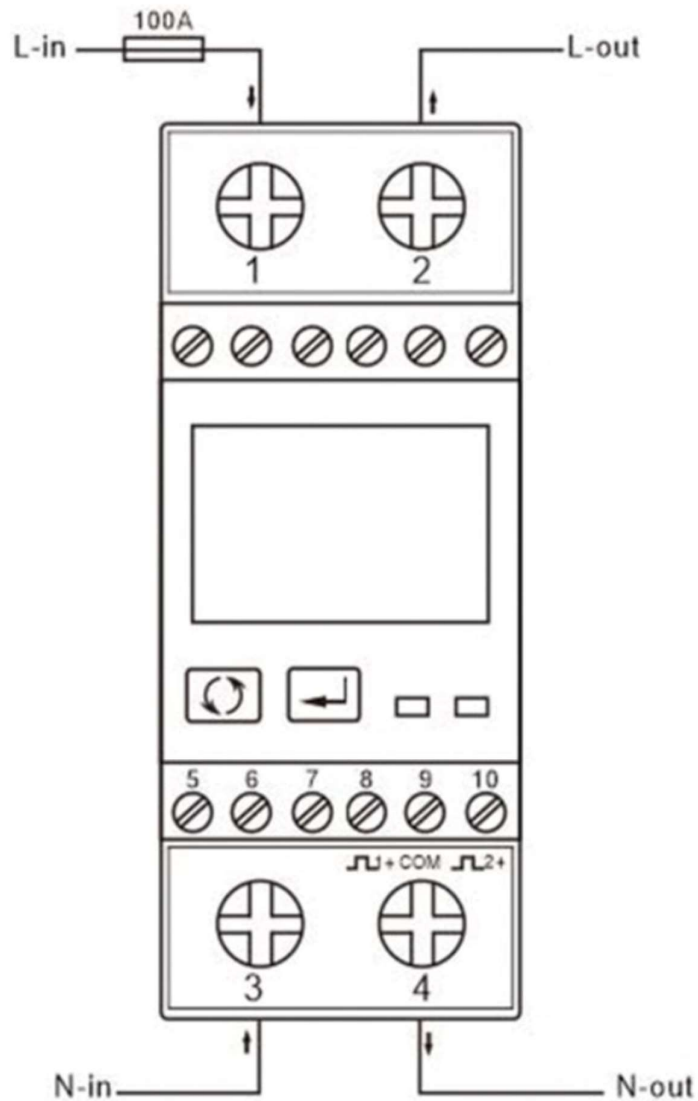
Medidas



ANEXO III: Ficha técnica contador bidireccional

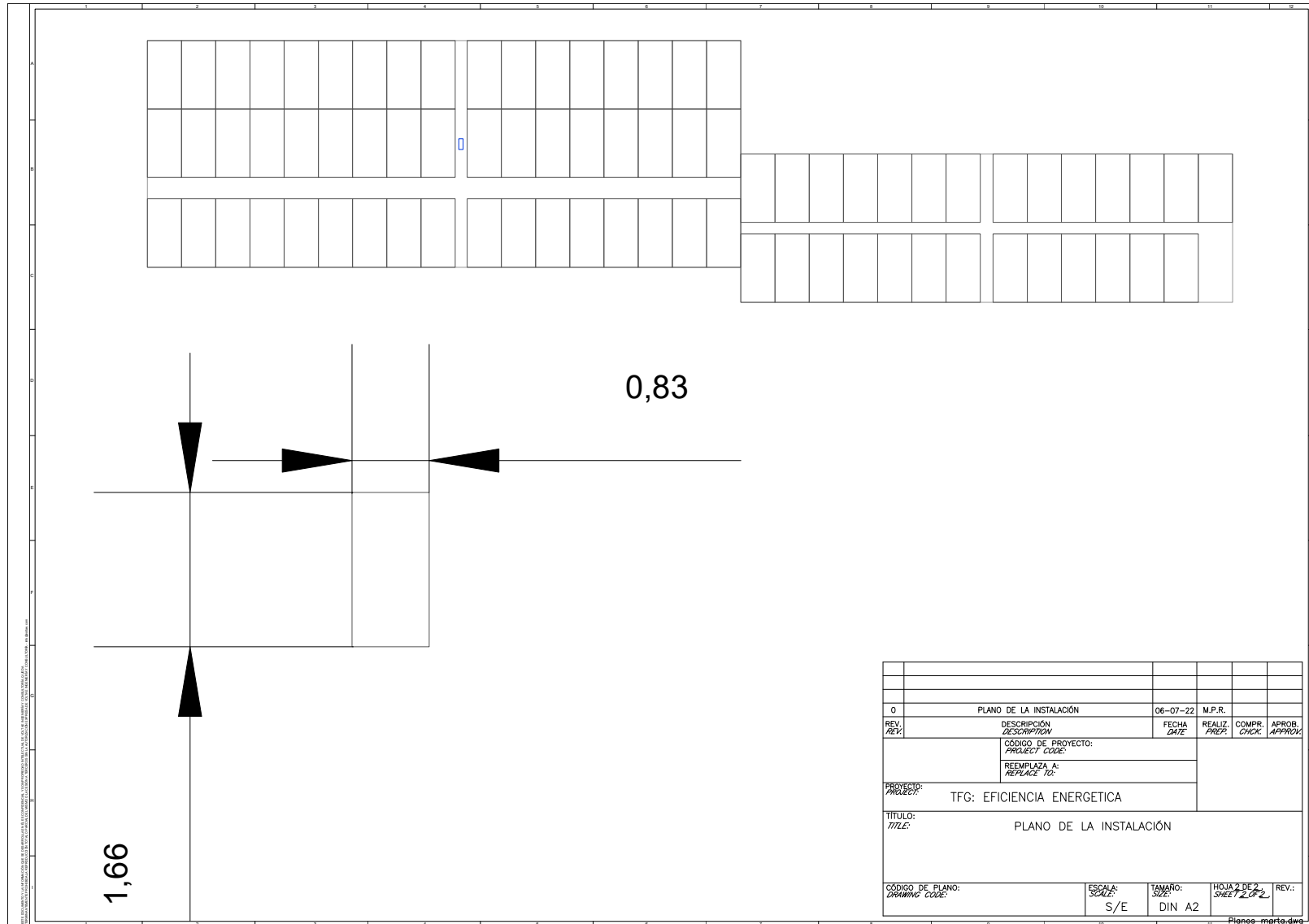
Tensión:	220-240V AC
Frecuencia:	50-60 Hz
Entrada:	100 A
Uso:	Interior
Protección IP:	IP20
Garantía:	2 Años
Certificados:	CE & RoHS



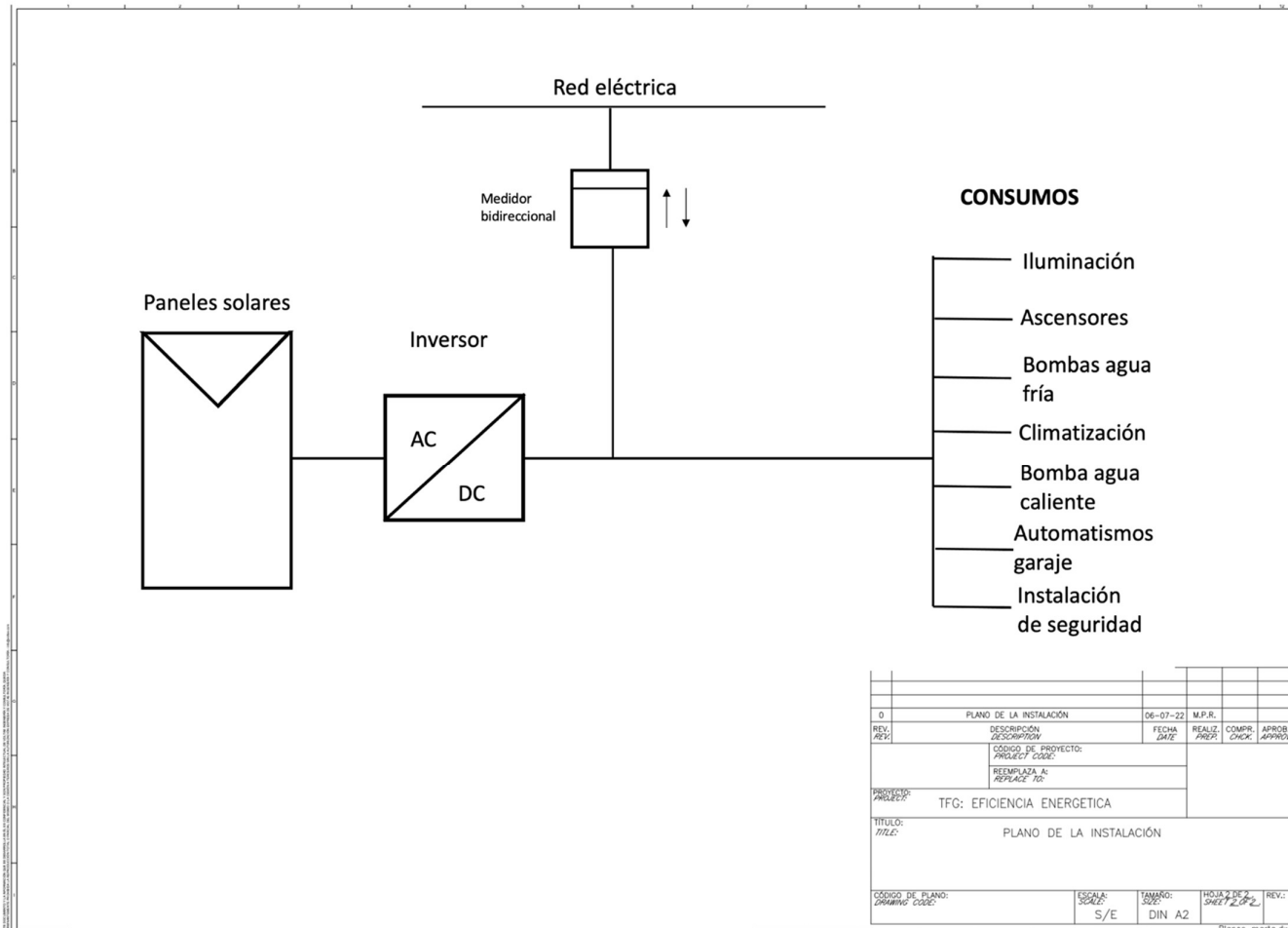


ANEXO IV: Plano instalación paneles fotovoltaicos





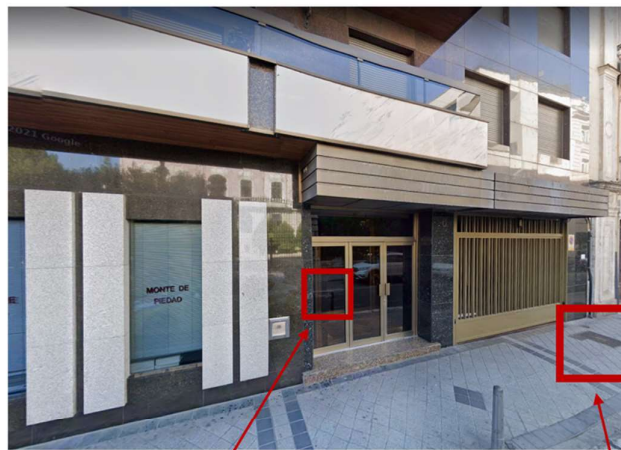
ANEXO V: Unifilar de la instalación



ANEXO VI: Detalle ubicación inversor y cuadro general



Sala servicios comunes



Instalaciones de enlace/Cuarto
de contadores

Arqueta entronque
suministro

Inversor: Sala de servicios comunes
Cuadro general: Cuarto de contadores



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES