



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO PARA UNA URBANIZACIÓN RESIDENCIAL

Autor: Gregorio Carazo Escudero

Director: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de la viabilidad de una instalación de autoconsumo para una urbanización
residencial

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

curso académico 2022/23 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.: Gregorio Carazo Escudero

Fecha: 27/06/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: 27/06/2023



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO PARA UNA URBANIZACIÓN RESIDENCIAL

Autor: Gregorio Carazo Escudero

Director: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Agradecimientos

A mis padres, por darme la mejor educación posible y ser un apoyo fundamental en mi vida.

A mi tutora, Mar, por su dedicación y ayuda en la realización de este trabajo.

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO PARA UNA URBANIZACIÓN RESIDENCIAL

Autor: Carazo Escudero, Gregorio.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Estudio para evaluar la viabilidad de una instalación de energía solar fotovoltaica y de aerotermia en una urbanización residencial. Se han analizado los consumos eléctricos, térmicos y de agua caliente sanitaria (ACS) de la urbanización. Los resultados muestran que la instalación es factible y permitiría reducir la dependencia de las fuentes de energía no renovables, al mismo tiempo que se fomenta la creación de una comunidad energética.

Palabras clave: Comunidad energética, Energía fotovoltaica, Aerotermia

1. Introducción

Debido al cambio climático y a la necesidad de adoptar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, resulta crucial explorar opciones energéticas más sostenibles. En este contexto, se plantea la evaluación de la viabilidad de una instalación de energía solar fotovoltaica y de aerotermia en una urbanización residencial, con el propósito de promover el uso de fuentes de energía renovable y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

El presente proyecto busca examinar los aspectos relevantes para determinar si es viable, técnica y económicamente, la implementación de esta instalación en la urbanización residencial en cuestión. Se analizarán diferentes factores, como los consumos eléctricos, térmicos y de ACS, con el fin de evaluar el potencial de estas tecnologías para proporcionar energía limpia y contribuir a la transición hacia un modelo de comunidad energética.

2. Definición del proyecto

El emplazamiento elegido para realizar la instalación es una urbanización residencial de 4 bloques, con 15 viviendas cada uno, ubicada en la costa de Huelva, zona donde las temperaturas son suaves durante todo el año y no se hace un uso intensivo de los sistemas de calefacción o refrigeración.

Se estudia la viabilidad de una instalación fotovoltaica que abastezca todos los consumos eléctricos, tanto de las viviendas como de las zonas comunes de la urbanización. Además, se plantea el sustituir los equipos tradicionales que satisfacen la demanda térmica, por equipos de aerotermia que funcionan gracias a la energía suministrada por la instalación fotovoltaica.

3. Resultados

- Se han calculado los consumos eléctricos, térmicos y de ACS para cada mes del año. Al incorporar los equipos de aerotermia, se añaden nuevos consumos eléctricos que también se han tenido en cuenta.
- Analizando los consumos térmicos y de ACS mensuales de las viviendas de la urbanización, se eligen los equipos de aerotermia.
- Una vez se tiene todos los consumos eléctricos (tabla 1) de las viviendas y de las zonas comunes de la urbanización, se dimensiona la instalación fotovoltaica para que sea capaz de satisfacer la demanda eléctrica, teniendo en cuenta el espacio disponible en los tejados de cada uno de los bloques de la urbanización.

Mes	Consumo eléctrico [kWhe]
Enero	20.110,46
Febrero	19.609,78
Marzo	19.872,79
Abril	19.176,49
Mayo	23.763,85
Junio	24.095,42
Julio	25.281,70
Agosto	25.214,05
Septiembre	24.131,62
Octubre	19.048,75
Noviembre	19.475,11
Diciembre	20.029,62

Tabla 1 | Consumo eléctrico de la urbanización

- Con estos consumos, y con el programa PVsyst, se define una instalación fotovoltaica en cada uno de los cuatro bloques de la urbanización, de 4 cadenas de 16 módulos cada una, y con un inversor de 25 kW en cada bloque.

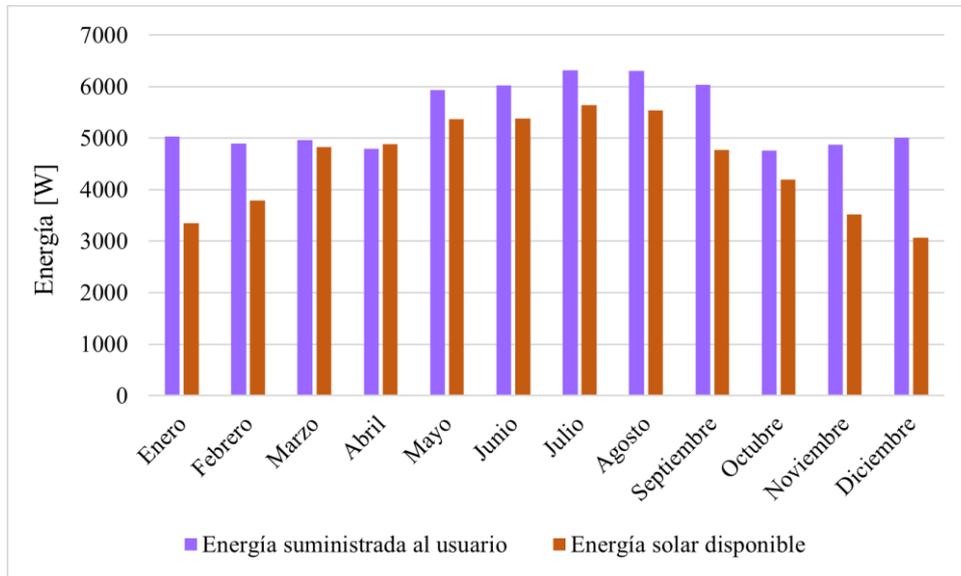


Fig. 1 | Demanda y producción de la instalación FV por bloque

4. Conclusiones

El estudio realizado demuestra la viabilidad técnica y económica de la instalación de energía solar fotovoltaica y sistemas de aerotermia en la urbanización residencial analizada. Estas tecnologías renovables permiten aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles, generando ahorros significativos a largo plazo y contribuyendo a la reducción de la huella de carbono. Además, el proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) al promover el uso de energía renovable y la mitigación del cambio climático.

Por otro lado, la implementación de esta instalación también implica el fomento de una comunidad energética. La participación de los residentes en la gestión y optimización de la energía generada fortalece la eficiencia energética, el intercambio de conocimientos y la conciencia colectiva sobre la importancia de la transición hacia un modelo energético más sostenible. En definitiva, el proyecto representa un paso significativo hacia un futuro energético más limpio y respetuoso con el medio ambiente, con beneficios económicos, ambientales y sociales para la comunidad residencial y la sociedad en general.

STUDY OF THE FEASIBILITY OF A SELF-CONSUMPTION INSTALLATION FOR A RESIDENTIAL URBANIZATION

Author: Carazo Escudero, Gregorio.

Supervisor: Cledera Castro, María del Mar.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Study to evaluate the feasibility of installing photovoltaic solar energy and aerothermal systems in a residential development. The electricity, thermal, and domestic hot water consumption of the residents have been analyzed. The results show that the installation is viable and would allow for a reduction in dependence on non-renewable energy sources, while also promoting the creation of an energy community

Keywords: Energy community, Photovoltaic energy, Aerothermal energy

1. Introduction

Due to climate change and the need to take measures to reduce greenhouse gas emissions, it is crucial to explore more sustainable energy options. In this context, the viability of installing photovoltaic solar energy and aerothermal systems in a residential development is being evaluated, aiming to promote the use of renewable energy sources and reduce dependence on fossil fuels.

The objective of this project is to examine the relevant aspects to determine the technical and economic feasibility of implementing this installation in the residential development under consideration. Factors such as electricity, thermal, and domestic hot water consumption will be analyzed to assess the potential of these technologies to provide clean energy and contribute to the transition towards an energy community model.

2. Definition of the project

The chosen location for the installation is a residential development, of four blocks with 15 houses in each block, located on the coast of Huelva, an area characterized by mild temperatures throughout the year and limited use of heating or cooling systems. The feasibility of a photovoltaic installation is being studied to meet all the electricity demands of both the individual households and the common areas of the residential development. Additionally, there is a consideration to replace traditional thermal equipment with aerothermal systems that can also benefit from the energy supplied by the photovoltaic installation.

3. Results

- The electricity, thermal, and domestic hot water consumption has been calculated for each month of the year. With the incorporation of aérothermal systems, new electricity consumption of the elements has been considered as well.
- After analyzing the monthly thermal and domestic hot water consumption of the residential units in the development, aérothermal systems have been selected as the chosen equipment.
- Once all the electricity consumption (Table 1) of the houses and common areas of the urbanization is known, the photovoltaic installation is sized to be able to meet the demand, considering the available space on the roofs of each of the blocks of the urbanization.

Month	Electric consumption [kWh]
January	20.110,46
February	19.609,78
March	19.872,79
April	19.176,49
May	23.763,85
June	24.095,42
July	25.281,70
August	25.214,05
September	24.131,62
October	19.048,75
November	19.475,11
December	20.029,62

Table 2 | Electric consumption of the urbanization

- With these consumptions, and with the PVsyst program, a photovoltaic installation is defined in each of the four blocks of the urbanization, with 4 strings of 16 modules each, and with a 25-kW inverter in each block.

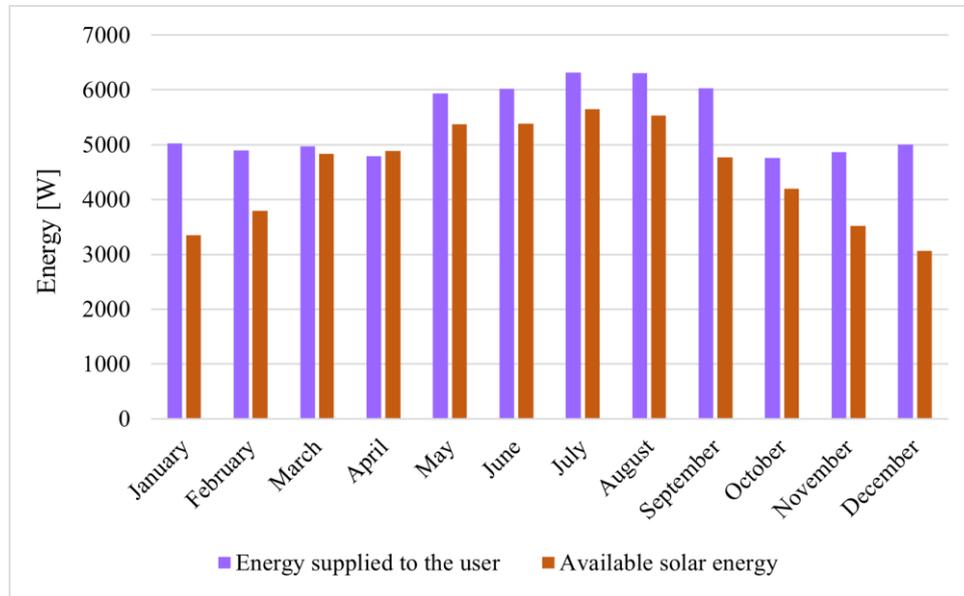


Fig. 2 | Demand and production of the photovoltaic installation per block

4. Conclusions

The study conducted demonstrates the technical and economic feasibility of installing photovoltaic solar energy and aérothermal systems in the analyzed residential development. These renewable technologies allow for the efficient utilization of available resources, resulting in significant long-term savings and contributing to the reduction of carbon footprint. Furthermore, the project aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), by promoting the use of renewable energy and mitigating climate change.

Moreover, the implementation of this installation also entails the fostering of an energy community. Active participation from residents in managing and optimizing the generated energy enhances energy efficiency, knowledge exchange, and collective awareness regarding the importance of transitioning towards a more sustainable energy model. Ultimately, the project represents a significant step towards a cleaner and more environmentally friendly energy future, with economic, environmental, and social benefits for the residential community and society.

Índice de la memoria

1. Introducción.....	7
2. Estado de la Cuestión	10
2.1 Energía Solar Fotovoltaica.....	12
2.2 Aerotermia	14
2.3 Otras formas de autoconsumo.....	17
2.3.1 Autoconsumo Eólico	17
2.3.2 Geotermia	19
3. Normativa vigente. Marco regulatorio.....	20
3.1 Normativa Autonómica.....	21
3.2 Normativa Municipal	23
3.3 Subvenciones	23
3.4 Clasificación de Instalaciones.....	25
3.5 Comunidades Energéticas.....	26
4. Descripción de la Tecnología	28
4.1 Radiación Solar.....	28
4.2 Elementos de la Instalación Solar Fotovoltaica	31
4.2.1 Módulo Fotovoltaico	32
4.2.2 Inversor.....	34
4.2.3 Estructura.....	35
4.3 Elementos de la instalación aerotérmica.....	36
4.3.1 Bomba de calor aerotérmica.....	37
4.3.2 Análisis del rendimiento de la aerotermia	39
5. Características del Emplazamiento	41
5.1 Localización.....	41
5.2 Condiciones Climáticas	41
5.3 Características de la urbanización.....	44
6. Consumos	46
6.1 Consumo eléctrico propio de la urbanización.....	46

6.2 Consumo Térmico.....	53
6.3 Consumo de ACS.....	61
6.4 Consumo eléctrico aeroterminia	64
7. Huella de carbono.....	72
8. Metodología.....	75
8.1 Elección de la orientación	76
8.2 Sistema fotovoltaico.....	79
8.3 Sombras	88
9. Análisis económico	91
9.1 Inversión inicial	91
9.2 Costes de operación y mantenimiento	92
9.3 Ahorro por aeroterminia.....	92
9.4 Ahorro por la instalación fotovoltaica	94
9.5 Métricas financieras	95
9.5.1 Valor Actual Neto (VAN)	96
9.5.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	97
9.5.3 Periodo de retorno	98
10. Objetivos de Desarrollo Sostenible	99
11. Conclusiones.....	102
12. Bibliografía.....	104
ANEXO 109	

Índice de figuras

Fig. 1 Demanda y producción de la instalación FV por bloque	10
Fig. 2 Demand and production of the photovoltaic installation per block	13
Fig. 3 Consumo total de energía y consumo total de energías renovables por sector, 2020. Fuente: <i>Ren21</i>	7
Fig. 4 Consumo de energía por usos del sector residencial. Fuente: <i>IDAE</i>	11
Fig. 5 Consumo de energía por electrodoméstico. Fuente: <i>IDAE</i>	12
Fig. 6 Distribución del autoconsumo por sectores. Fuente: <i>UNEF</i>	13
Fig. 7 Ejemplo de BIPV.....	13
Fig. 8 Esquema de un sistema SAS-HPWH [9]	16
Fig. 9 Esquema de un sistema DX-SAHP [10].....	17
Fig. 10 Tipología de aerogeneradores: izq. HAWT; der. VAWT [11].....	18
Fig. 11 Espectro de la radiación solar fuera de la atmósfera (área amarilla) y a nivel del mar para condiciones de cielo despejado (área roja). Fuente: <i>Phinet</i>	28
Fig. 12 Componentes de la radiación solar. Fuente: <i>monografias.com</i>	29
Fig. 13 Posición del Sol respecto una superficie. Fuente: <i>IDEAM</i>	30
Fig. 14 Mapa mundial de la radiación global. Fuente: <i>Solargis</i>	31
Fig. 15 Tipos de módulos. Izq. Módulos de silicio monocristalino; Centro Módulos de silicio policristalino; Der. Módulos de silicio amorfo. Fuente: <i>Tritec Intervento</i>	33
Fig. 16 Esquema funcionamiento aerotermia [29]	37
Fig. 17 Modos de funcionamiento bomba de calor aerotérmica [29].....	38
Fig. 18 Rendimientos de un equipo de aerotermia. Fuente: <i>Daikin</i>	40
Fig. 19 Localización de El Rompido	41
Fig. 20 Irradiación solar mensual	44
Fig. 21 Vista aérea de la urbanización.....	45
Fig. 22 Bombas de las piscinas. Izquierda: modelo Aral C1500. Derecha: modelo Aral C3000. Fuente: <i>AstraPool</i>	50
Fig. 23 Curva potencia absorbida-caudal modelo Aral C3000. Fuente: <i>AstraPool</i>	51
Fig. 24 Curva potencia absorbida-caudal modelo Aral C1500. Fuente: <i>AstraPool</i>	51

Fig. 25 Monótona de demanda térmica	60
Fig. 26 Demanda térmica mensual [kWh]	60
Fig. 27 Unidad exterior Nimbus Monobloc 40 M. Fuente: <i>Ariston</i>	65
Fig. 28 Datos técnicos Nimbus Monobloc 40 M. Fuente: <i>Ariston</i>	66
Fig. 29 Esquema de la instalación aerotérmica. Fuente: <i>Ariston</i>	66
Fig. 30 NUOS PLUS WIFI 200. Fuente: <i>Ariston</i>	67
Fig. 31 Origen de la electricidad de la comercializadora	73
Fig. 32 Condiciones climáticas de El Rompido generadas por PVsyst	75
Fig. 33 Inclinación para optimización anual	78
Fig. 34 Inclinación para optimización de los meses de verano	78
Fig. 35 Características del módulo FV seleccionado	79
Fig. 36 Vista 3D de la instalación fotovoltaica por bloque	81
Fig. 37 Opciones para definir los perfiles de consumo de PVsyst	82
Fig. 38 Diagrama de pérdidas sin optimizar por bloque	83
Fig. 39 Comparación entre energía inyectada en la red, energía de red y energía suministrada al usuario	84
Fig. 40 Diagrama de pérdidas por bloque	85
Fig. 41 Comportamiento del sistema para el 21/12	86
Fig. 42 Comportamiento del sistema para el 21/06	86
Fig. 43 Demanda y producción anual del sistema	87
Fig. 44 Sombras de la instalación el 21/06 a las 14:00	88
Fig. 45 Sombras de la instalación el 21/12 a las 14:00	89
Fig. 46 Sombras de la instalación el 21/12 a las 18:00	89
Fig. 47 Sombras de la instalación el 21/06 a las 18:00	90
Fig. 48 VAN según la subvención	97
Fig. 49 TIR según la subvención	98

Índice de tablas

Tabla 1 Consumo eléctrico de la urbanización.....	9
Table 2 Electric consumption of the urbanization.....	12
Tabla 3 Ayudas instalaciones de autoconsumo Andalucía [24].....	24
Tabla 4 Ayudas instalaciones aerotérmicas Andalucía [24].....	25
Tabla 5 Parámetros climáticos de la zona B4.....	42
Tabla 6 Irradiancia solar mensual.....	43
Tabla 7 Consumo medio anual por servicio [30].....	46
Tabla 8 Consumo medio anual por electrodoméstico [30].....	47
Tabla 9 Niveles de iluminación pistas de pádel. Fuente: <i>UNE-EN 12193</i>	48
Tabla 10 Consumo eléctrico iluminación pistas de pádel y zonas comunes.....	49
Tabla 11 Consumos de las piscinas (bombas e iluminación).....	52
Tabla 12 Consumo eléctrico propio de la urbanización.....	53
Tabla 13 Coeficientes de regresión para la severidad climática de invierno.....	54
Tabla 14 Intervalos para la zonificación en invierno.....	54
Tabla 15 Coeficientes de regresión para la severidad climática de verano.....	55
Tabla 16 Intervalos para la zonificación en verano.....	55
Tabla 17 Coeficientes correlación severidad climática invierno.....	57
Tabla 18 Coeficientes para obtener la demanda de referencia en invierno.....	57
Tabla 19 Coeficientes de correlación severidad climática verano.....	58
Tabla 20 Coeficientes para obtener la demanda de referencia en verano.....	58
Tabla 21 Demanda térmica mensual [kWh].....	59
Tabla 22 Factor de centralización para demanda de ACS.....	61
Tabla 23 Demanda de ACS mensual (L/mes) por vivienda.....	62
Tabla 24 Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C) en Huelva.....	63
Tabla 25 Demanda energética para ACS en kWh por vivienda.....	64
Tabla 26 Datos técnicos NUOS PLUS WIFI 200.....	67
Tabla 27 Consumo eléctrico calefacción y refrigeración.....	68
Tabla 28 Consumo eléctrico ACS.....	69

Tabla 29 Consumo eléctrico total instalación aerotérmica por vivienda.....	70
Tabla 30 Consumo eléctrico total de la urbanización.....	71
Tabla 31 Emisiones de carbono por MWhe consumido. Fuente: <i>REE</i>	74
Tabla 32 Precio de los equipos de aerotermia e instalación FV	91
Tabla 33 Coste anual por vivienda en gas natural	93
Tabla 34 Coste anual de energía consumida por la urbanización.....	95

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo se encuentra en pleno proceso de transición energética hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. La necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático ha llevado a un nuevo enfoque en las energías renovables como una solución viable. Estas fuentes de energía, como la solar, eólica, hidráulica o geotérmica, son inagotables y no generan emisiones contaminantes durante su producción. En la figura 3, se recoge el consumo total de energía en el mundo en diferentes sectores, y qué porcentaje de esta energía es de origen renovable.

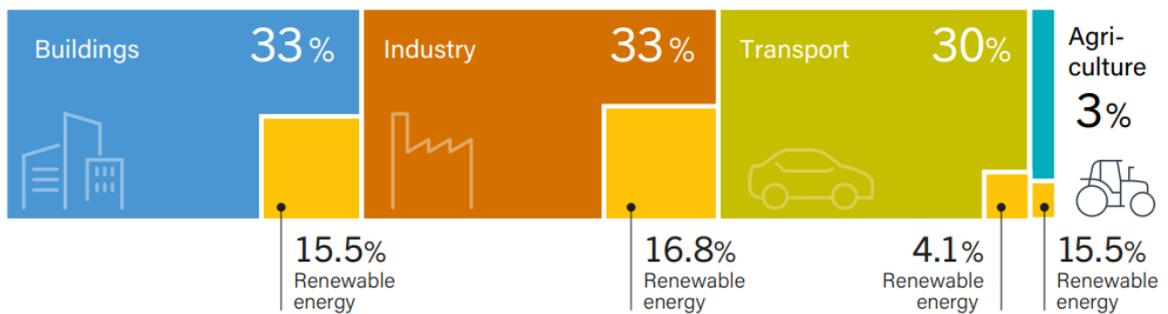


Fig. 3 | Consumo total de energía y consumo total de energías renovables por sector, 2020.

Fuente: *Ren21*

En 2022, solamente tres países (España, Portugal y Turquía) tenían políticas de energías renovables en los cuatro sectores de demanda principales: edificios, industria, transporte y agricultura [1]. En el sector de los edificios (comerciales, residenciales y públicos), 52 países contaban con políticas de apoyo a energías renovables a finales de 2022. Estas políticas suelen incluir incentivos para la instalación de tecnologías renovables (instalaciones de energía solar fotovoltaica, calentadores de agua mediante energía termosolar, calderas de biomasa y bombas de calor geotérmicas), a la vez que prohibiciones sobre el uso de combustibles fósiles para calefacción.

La energía solar fotovoltaica se ha destacado como una tecnología ampliamente accesible y eficiente para aprovechar la radiación solar y convertirla en electricidad. El uso de paneles solares fotovoltaicos para el autoconsumo se ha convertido en una práctica cada vez más extendida. En este enfoque, los propietarios de viviendas, empresas o comunidades pueden generar su propia electricidad a través de la instalación de paneles solares en sus tejados o en áreas apropiadas. Esta energía generada localmente se utiliza directamente en el lugar de consumo, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional y los costes asociados.

De manera similar, la aerotermia aprovecha la energía térmica presente en el aire ambiente para calefacción, refrigeración y ACS de manera sostenible. Mediante bombas de calor, se extrae el calor del aire exterior y se utiliza para calentar el interior de los edificios en invierno. En verano, el proceso se invierte, extrayendo el calor del aire interior y disipándolo en el exterior para obtener refrigeración. Esta tecnología ofrece una alternativa eficiente y respetuosa con el medio ambiente a los sistemas convencionales de climatización y ACS.

El autoconsumo energético mediante la energía fotovoltaica y la aerotermia no solo reduce la dependencia de fuentes externas, sino que también conlleva beneficios económicos y medioambientales significativos. Al generar electricidad de manera autónoma, los consumidores pueden reducir sus facturas de energía a largo plazo y protegerse de las fluctuaciones de precios en el mercado energético. Además, al utilizar energías renovables en el lugar de consumo, se disminuye la demanda de energía de origen convencional, lo que se traduce en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y en una huella de carbono más baja. Por tanto, el autoconsumo energético se presenta como una herramienta esencial en el contexto de la transición energética. Aprovechar fuentes de energía renovable como la solar y combinarlas con tecnologías como la aerotermia permite satisfacer las necesidades energéticas de manera autónoma y sostenible.

En este contexto, el presente trabajo se centra en explorar los beneficios y las oportunidades que el autoconsumo a través de una instalación fotovoltaica con aerotermia puede brindar en una urbanización residencial. Se analizarán los aspectos técnicos, económicos y medioambientales de esta solución energética, con el objetivo de comprender su viabilidad y su potencial para contribuir a una sociedad más sostenible y resiliente.

Al finalizar este estudio, se espera obtener una comprensión más sólida de los beneficios y las implicaciones del autoconsumo mediante una instalación fotovoltaica con aerotermia. Estos conocimientos pueden impulsar la adopción de soluciones renovables en el ámbito residencial, y también el concepto de comunidades energéticas, promoviendo un modelo energético más sostenible y acelerando el progreso hacia un futuro más limpio y respetuoso con el medio ambiente.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La mayor parte de la potencia instalada en el mundo en 2021 fue renovable, siguiendo la tendencia desde 2012. Aunque los mercados energéticos repuntaron, la contribución de energías renovables en la potencia neta añadida siguió creciendo, alcanzando el récord de un 84% [1].

La energía solar fotovoltaica y la energía eólica constituyeron la mayor parte de las nuevas adiciones de energía renovable, impulsadas por el apoyo de las políticas gubernamentales y los bajos costes. Después de mantenerse resilientes en 2020, estos mercados vieron un crecimiento importante en 2021, con un 26% más de energía solar fotovoltaica y un 7% más de energía eólica. Se añadió la cifra récord de 175 GW, lo que representa más de la mitad de las adiciones en renovables. Este crecimiento se produjo a pesar de la incertidumbre y las interrupciones en la cadena de suministro provocados por los efectos de la pandemia y el aumento de los precios de las materias primas.

El sector de los edificios (residenciales o comerciales) es el mayor consumidor de energía y el mayor emisor de CO₂, consumiendo un 40% de la energía final. En 2019 el 14,7% de la energía utilizada en edificios era renovable, comparada con un 10,7% en 2009 [2]. Esto hace que los edificios sean un campo clave a la hora de mejorar la eficiencia energética y el fomento de las energías renovables.

Conforme a esta necesidad, en los últimos años ha habido un gran desarrollo tecnológico de aplicaciones térmicas de las energías renovables (biomasa, solar térmica, geotermia y aerotermia). Con una gran variedad de aplicaciones en la edificación. Estas fuentes de energía son un elemento fundamental en la edificación con el fin de lograr los requerimientos de eficiencia energética, sobre todo si el futuro apunta hacia un consumo energético casi nulo. Siguiendo esta tendencia, los edificios están pasando de ser un consumidor de energía a un productor – consumidor de energía que puede ser autosuficiente e incluso excedentario.

En los edificios hay dos usos principales de la energía: eléctrico y térmico. El uso térmico está relacionado con aspectos como la calefacción y refrigeración, el calentamiento de agua y la cocina. Los usos eléctricos cubren los principales electrodomésticos (nevera, lavadora, equipos electrónicos), iluminación y otras demandas menores. Aproximadamente, el 77% del uso es térmico y el 23% es eléctrico [3]. En las figuras 4 y 5, se presenta la estructura del consumo de energía final por usos del sector residencial y el detalle del consumo por electrodoméstico.

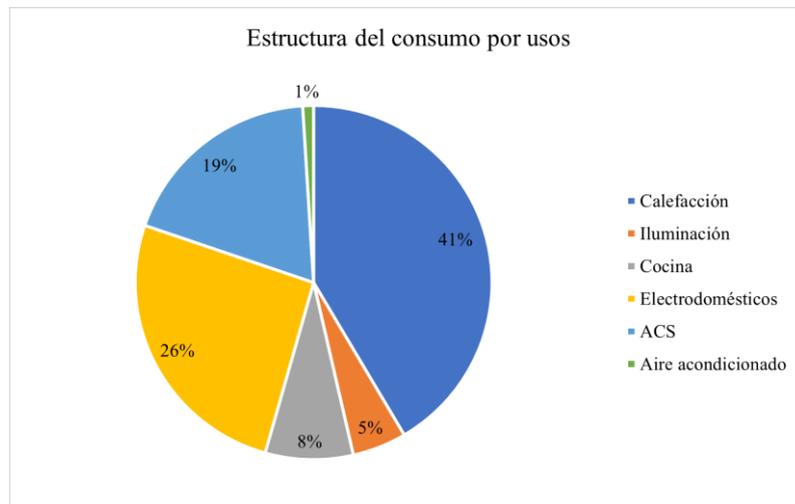


Fig. 4 | Consumo de energía por usos del sector residencial. Fuente: *IDAE*

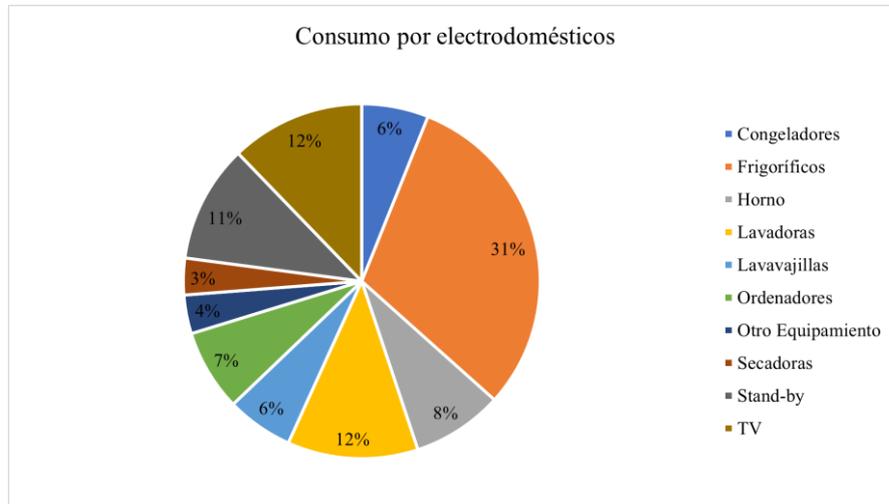


Fig. 5 | Consumo de energía por electrodoméstico. Fuente: *IDAE*

2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que permite la conversión de la energía solar en energía eléctrica mediante el uso de células solares, que están hechas de materiales semiconductores, como el silicio. Esta conversión se conoce como efecto fotoeléctrico, y se produce cuando los rayos del sol inciden en estas células, los electrones se excitan y se mueven a través del material, generando una corriente eléctrica.

Esta energía es un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que se puede producir en distintos tipos de instalaciones como pequeños generadores para el autoconsumo o grandes plantas fotovoltaicas.

La tecnología solar fotovoltaica es la que mayor grado de desarrollo está teniendo en las instalaciones de autoconsumo, siendo el reparto por sectores de actividad el que se representa en la figura 6. Hay que destacar cómo el sector doméstico representó un 32% en 2021, mientras que en 2020 y 2019 un 19% y 10%, respectivamente.

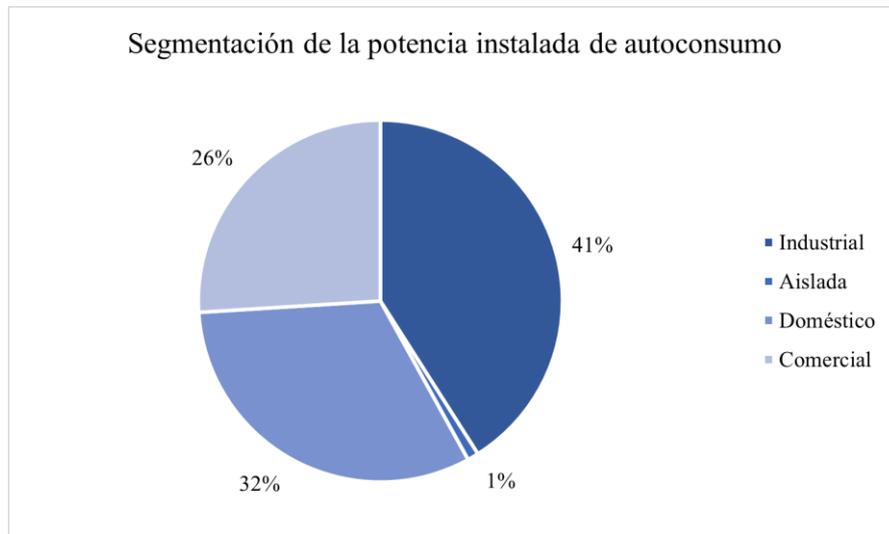


Fig. 6 | Distribución del autoconsumo por sectores. Fuente: *UNEF*

En el sector residencial, el uso principal de la energía solar fotovoltaica es para autoconsumo, generando electricidad en paneles fotovoltaicos. La electricidad que se genera se utiliza para alimentar los electrodomésticos, luces y otros equipos que consumen energía eléctrica. La integración de la fotovoltaica en edificios o BIPV, acrónimo de Building Integrated Photovoltaics, es una forma esencial para la descarbonización del sector residencial y el desarrollo de edificios de consumo de energía neta casi nula (Net Zero Energy Buildings, NZEBs). En la figura 7, se presenta un ejemplo de BIPV.



Fig. 7 | Ejemplo de BIPV

Esta técnica consiste en sustituir y combinar elementos convencionales de los edificios (cubiertas, ventanas, pérgolas y lucernarios, muros cortina, fachadas ventiladas o revestimientos) incorporando células fotovoltaicas, siendo así elementos activos mediante la producción de electricidad. Actualmente, en términos de potencia instalada, el mercado BIPV acoge menos del 1% del mercado fotovoltaico global. [4]

En España, el conocimiento sobre la BIPV está limitado al ámbito científico y académico; el sistema de innovación necesita más conocimiento, tanto de mercado como tecnológico, ya que la difusión del know-how es muy débil, especialmente entre los sectores de la construcción y fotovoltaico. Se está viendo un aumento muy lento de emprendimiento, aunque es necesaria más competencia. Existen subvenciones para la investigación, la innovación y el desarrollo de proyectos de energía fotovoltaica, pero no hay ayudas específicas para proyectos de BIPV.

Los BIPV compiten directamente con los BPAV (Building-Added Photovoltaic), que son los paneles fotovoltaicos instalados en edificios ya existentes, son elementos nuevos que se añaden y no sustituyen, y es una tecnología que tiene menos costes y un crecimiento más rápido, gracias al éxito del autoconsumo fotovoltaico. Las dos dificultades principales a las que se enfrentan los BIPV es que no aparecen en el código técnico de la edificación y que no existen incentivos específicos para este tipo de proyectos. Se trata de un nicho de mercado que está creciendo lentamente y con un futuro prometedor.

2.2 AEROTERMIA

En el Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Energías Renovables 2011-2020, se define la aerotermia como: “la energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente. Para ello, se utiliza un sistema de traspaso compuesto por dos elementos: una unidad exterior que capta las calorías, y una unidad interior que se las traspasa a un circuito de agua de tipo «calefacción central». Del transporte de estas calorías se encarga un fluido refrigerante que circula entre ambas unidades y que está impulsado por un compresor” [5].

Los calentadores que forman parte de los equipos de calentamiento tradicionales de agua utilizan combustibles fósiles o electricidad para la generación. Actualmente, no es recomendable su uso ya que existen una serie de normativas que, debido a su baja eficiencia, limitan su uso. Al contrario, los sistemas de calentamiento que utilizan bombas de calor pueden aportar la misma cantidad de calor, pero con un consumo eléctrico mucho menor que los calentadores convencionales.

El uso principal de la aerotermia es satisfacer la demanda de refrigeración, calefacción y/o ACS en los edificios. Estos sistemas de climatización están diseñados para utilizarse en lugares pequeños, ya que, aunque tengan una alta eficiencia y rendimiento, el poder calorífico que consiguen no es suficiente para climatizar grandes zonas. Normalmente se utilizan en viviendas unifamiliares.

Los equipos de climatización aerotérmicos emplean bombas de calor, siendo un generador de calor que absorbe y recupera la energía que contiene el aire exterior y transfiere el calor a un refrigerante que circula por un circuito. Las bombas de calor se pueden utilizar en sistemas en los que su demanda eléctrica se satisface por la red.

Una de las formas de ahorro energético más actuales y en continua evolución son los edificios sostenibles. Una de las aplicaciones de la aerotermia en estos edificios es mediante la hibridación combinando la bomba de calor con placas fotovoltaicas que suministran la energía necesaria para que funcionen las bombas de calor. Este tipo de aplicación supone una mejora del rendimiento energético de una caldera tradicional en un porcentaje total de energía consumida anual aproximadamente de un 20% [6]. Estos sistemas híbridos todavía se enfrentan a muchos desafíos y es necesario un enfoque integral para el diseño y control de sistemas de energía, aunque esto depende también de factores como el clima local y el factor económico [7]. La energía solar es una forma de ayuda para las bombas de calor, esto se conoce como sistemas de bombas de calor asistidas con energía solar (SAHP – solar assisted heat pump).

Un estudio que integra la aerotermia y la energía solar es el realizado por Guoying *et al.* [8]. En este caso se realiza una simulación de la operación de un sistema de aerotermia ayudado

por energía solar para calentar agua (SAS-HPWH – solar-air source heat pump water heater). Como se muestra en la figura 8, tiene un diseño especial de un evaporador de tubo en espiral conectado a un colector para conseguir la energía contenida en el aire como el calor extraído de la radiación solar a través del panel.

Otra solución interesante encontró Sakai *et al.* [9], mediante un sistema aerotérmico con bomba de calor con el que se puede resolver la baja capacidad de calentamiento del sistema a temperatura ambiente, siendo este uno de los principales problemas de estos sistemas. Para disminuir el área de colector necesaria, el sistema aerotérmico opera con energía del aire durante el día. Durante las noches, por las bajas temperaturas, funciona con el agua caliente que produce el colector durante el día, el sistema tiene la ayuda auxiliar de un calentador eléctrico. Los resultados determinaron que el uso de energía solar como apoyo mejora en gran manera el ahorro de energía y se consigue incrementar la capacidad calorífica con una temperatura ambiente baja.

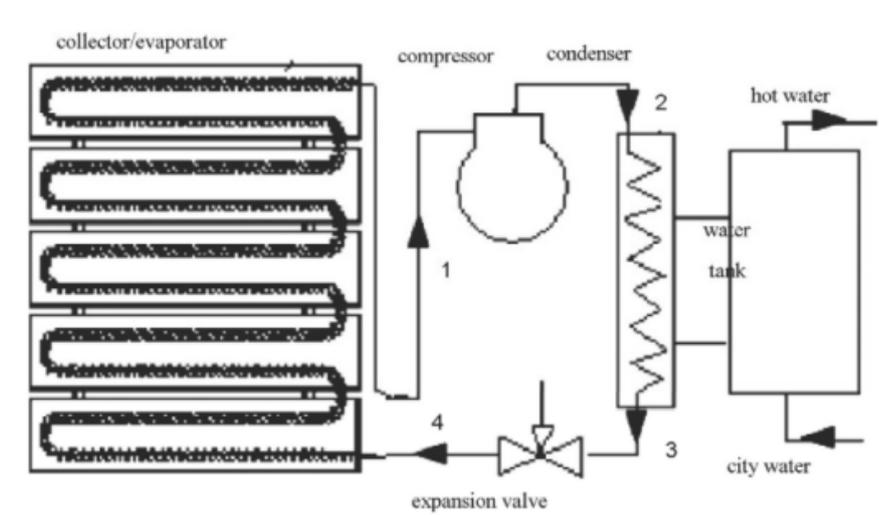


Fig. 8 | Esquema de un sistema SAS-HPWH [9]

Otra aplicación de un sistema de bomba de calor de expansión directa, asistido con energía solar y de capacidad variable (DX-SAHP – direct – expansion solar assisted heat pump) fue propuesto por Chatuverdi *et al.* [10]. El sistema planteado se representa en la figura 9 y utiliza un simple colector solar empleado como evaporador. El sistema cuenta con un bloque *Inverter*, para modular la velocidad del compresor y mantener un funcionamiento uniforme en función de la relación entre la capacidad de bombeo de calor y la capacidad de evaporación del colector en condiciones ambientales con grandes variaciones. Los autores llegaron a la conclusión de que el COP (Coefficient of Performance) mejora sustancialmente a partir de las variaciones de la velocidad del compresor en función de los meses del año.

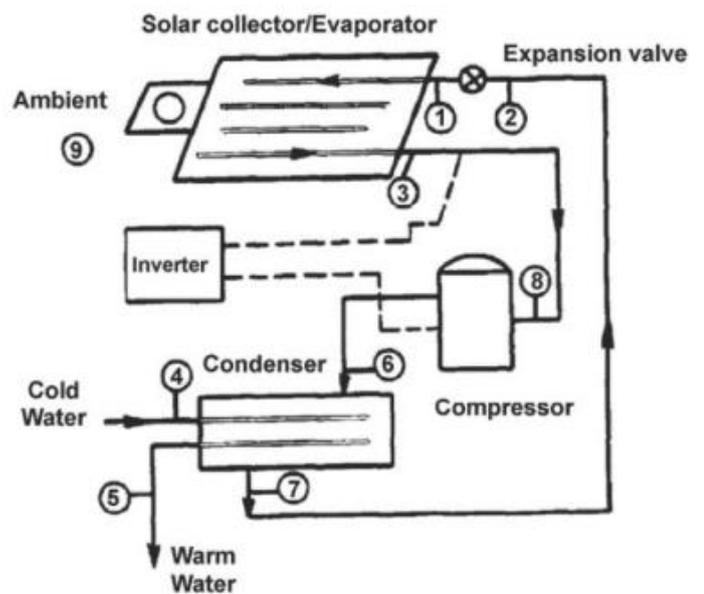


Fig. 9 | Esquema de un sistema DX-SAHP [10]

2.3 OTRAS FORMAS DE AUTOCONSUMO

2.3.1 AUTOCONSUMO EÓLICO

Actualmente hay varias formas de energía eólica con las que es posible lograr un autoconsumo eléctrico. El rango de potencia de este tipo de instalaciones puede superar el megavatio en aplicaciones de autoconsumo para sectores agroalimentarios o industriales. Sin embargo, la aplicación más utilizada es la llamada energía eólica de pequeña potencia,

la cual llega hasta los 100 kW como potencia de referencia. Los dispositivos eólicos de pequeña potencia tienen ya coeficientes de producción muy cercanos a la eólica de gran potencia. Según la IEC (International Electrotechnical Commission), un aerogenerador se considera de pequeña potencia cuando el área de barrido por su rotor es menor a 200 m², equivalente a un diámetro de 7,98 m.

Esta tecnología se clasifica en función del posicionamiento de giro del rotor en relación con la dirección del viento en aerogeneradores de eje vertical (VAWT, Vertical Axis Wind Turbine) y aerogeneradores de eje horizontal (HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine). [11]

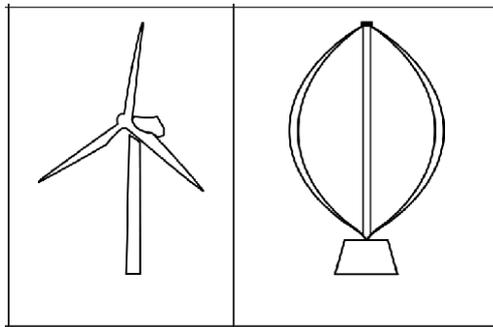


Fig. 10 | Tipología de aerogeneradores: izq. HAWT; der. VAWT [11]

Hoy en día, el tipo de turbina más usado es la de eje horizontal. En ella, el rotor está situado en un eje horizontal y, normalmente, tiene una veleta en su cola para colocarse en la dirección del viento. Hay una gran variedad de modelos y tienen una gran eficiencia energética.

Las turbinas de eje vertical son las que se utilizan normalmente en las ciudades, ya que funcionan mejor en ambientes turbulentos. Tienen cargas de fatiga menor puesto que no requieren de un sistema de orientación y presentan un nivel de ruido menor. En este tipo de aerogeneradores las aspas y el eje del rotor se encuentran en una posición vertical, perpendiculares a la superficie y a la dirección del viento.

Este tipo de instalaciones tiene varias aplicaciones, desde el autoconsumo residencial (conectado o aislado de la red, con unas potencias instaladas entre los 4 y 5 kW), las miniredes aisladas en comunidades rurales, híbridas o no con placas fotovoltaicas.

Una de las aplicaciones más frecuentes es la hibridación de esta tecnología con la solar fotovoltaica, logrando una generación estable y equilibrada, debido a que se utiliza el recurso eólico durante las noches y los meses de invierno y el recurso solar en los meses de verano.

2.3.2 GEOTERMIA

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida. Engloba tanto el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, sea cual sea su temperatura, profundidad y procedencia, pero no el contenido en masas de agua superficiales, continentales o marinas. Los recursos geotérmicos se clasifican en función de su nivel térmico, lo que condiciona su aprovechamiento:

- Recursos de alta temperatura (superiores a 150°C) y de media temperatura (entre 100 y 150°C), se utilizan para la generación de electricidad y para usos térmicos directos urbanos e industriales.
- Recursos geotérmicos de baja temperatura (entre 30 y 100°C) solo se aprovechan para usos térmicos en sistemas de climatización y ACS urbanos, se pueden utilizar directamente o con bombas de calor.
- Recursos geotérmicos de muy baja temperatura (menores a 25-30°C) es la energía almacenada en aguas subterráneas y en el subsuelo a poca profundidad. Siempre se utilizan para usos térmicos mediante bombas de calor a sistemas de calefacción, refrigeración y ACS.

La energía geotérmica en España todavía tiene poca presencia, a pesar de su gran potencial, ya sea para usos térmicos a escala doméstico como a escala industrial para generar electricidad. Al consultar el mapa de potencia térmica superficial de Andalucía [12], se observa que la zona donde se va a construir la instalación no tiene un gran potencial geotérmico, por lo que no se va a llevar a cabo un estudio de la viabilidad de instalar este tipo de instalaciones.

3. NORMATIVA VIGENTE. MARCO REGULATORIO

La regulación básica del autoconsumo es de ámbito estatal, y se encuentra desarrollada principalmente en las siguientes normativas:

- **Real Decreto Ley 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgente para la transición energética y la protección de los consumidores [13]. Los puntos más importantes y relevantes para este trabajo fin de máster, que se incluyen son:
 - La energía eléctrica autoconsumida que procede de fuentes renovables, cogeneración o residuos está libre de cargos y peajes.
 - Regula el autoconsumo compartido, se permite que la producción pueda ocurrir próximo al punto de suministro, no solo en el mismo edificio.
 - Se establece la nueva definición de modalidades de autoconsumo.
- **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica [14].
 - Se detallan las modalidades de autoconsumo
 - Se definen los esquemas permitidos y la ubicación de los equipos de medida
 - Se facilita el autoconsumo colectivo
- **Real Decreto Ley 23/2020**, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica [15].

En este Decreto se regulan aspectos relacionados con las solicitudes de acceso y conexión estableciendo una moratoria temporal a su concesión de la que está excluida el autoconsumo.

Se definen medidas de impulso a nuevos modelos de negocio relevantes para la transición energética y fuertemente vinculados con el autoconsumo, como son:

- Agregadores independientes: son participantes en el mercado de producción de electricidad que prestan servicios de agregación y no están relacionados con el suministrador del cliente. Agregación se entiende por la combinación de múltiples consumos o electricidad generada de consumidores, productores o instalaciones de almacenamiento para su venta o compra en el mercado de producción de energía eléctrica.
 - Titulares de instalaciones de almacenamiento: personas físicas o jurídicas que poseen instalaciones en las que se difiere el uso final de electricidad a un momento posterior a cuando fue generada, o que realizan la conversión de energía eléctrica en una forma de energía que se pueda almacenar para la subsiguiente reconversión de dicha energía en energía eléctrica.
- **Real Decreto 647/2020**, de 7 de julio, por el que se regulan aspectos necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión de determinadas instalaciones eléctricas [16].
 - **Real Decreto 1183/2020**, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica [17].

En el artículo 7 de este decreto, se determina la exención de obtener permisos de acceso y conexión a instalaciones de autoconsumo acogidas a la modalidad sin excedentes y a las instalaciones con excedentes de potencia igual o inferior a 15 kW, que se ubiquen en suelo urbanizado y cumplan con los requisitos de la legislación urbanística

3.1 NORMATIVA AUTONÓMICA

La instalación de autoconsumo se va a ubicar en la Comunidad Autónoma de Andalucía, la normativa vigente en materia del autoconsumo es la siguiente:

- Orden de 5 de marzo de 2013, por la que se dictan normas de desarrollo del Decreto 59/2005, de 1 de marzo por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales,

así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos. Se modifican diversas normas reguladoras de procesos administrativos de industria y energía [18].

- Resolución de 8 de octubre de 2019, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se modifican los Anexos I y II de la Orden de 5 de marzo de 2013, por la que se dictan normas de desarrollo del decreto 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos, en lo relativo a la comunicación de puesta en servicio y a las fichas técnicas descriptivas de baja tensión, instalaciones frigoríficas, instalaciones térmicas en los edificios, almacenamiento de productos químicos y productos petrolíferos líquidos [19].

En este decreto se establece que las Comunidades Autónomas deberán remitir Estado un conjunto de datos para el registro administrativo nacional de autoconsumo. También se desarrollan aspectos del Real Decreto 244/2019, se establece un contenido mínimo de datos del Registro administrativo de autoconsumo.

- Resolución de 5 de marzo de 2020, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueba el formulario de comunicación de instalaciones existentes de autoconsumo de conformidad al Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica [20].

Se establece un formulario para completar los datos que faltan de las instalaciones de autoconsumo ya existentes y que no aparecen en el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril. Además, las CC.AA deben enviar la información a la empresa distribuidora de manera electrónica.

- Decreto-ley 2/2018, de 26 de junio, de simplificación de normas en materia de energía y fomento de las energías renovables en Andalucía [21].
- Decreto-ley 26/2021, de 14 de diciembre por el que se adoptan medidas de simplificación administrativa y mejora de la calidad regulatoria para la reactivación económica en Andalucía [22].

Además, la Junta de Andalucía puso en marcha en 2017 la Mesa para el Autoconsumo en Andalucía para definir actuaciones que impulsen el desarrollo del autoconsumo en la comunidad. Entre sus principales objetivos están: mejorar el marco de desarrollo del autoconsumo, difundir la viabilidad de las instalaciones de autoconsumo, facilitar el cambio de consumidor a prosumidor de electricidad de Andalucía, y mejorar la formación del sector relacionado con esta actividad. Esta mesa está formada por algunos grupos como la Agencia Andaluza de Energía, UNEF (Unión Española Fotovoltaica), o la Dirección General de Energía.

3.2 NORMATIVA MUNICIPAL

El Rompido es una localidad que pertenece al Ayuntamiento de Cartaya, provincia de Huelva. No se ha encontrado ninguna normativa específica que afecte a las instalaciones fotovoltaicas o instalaciones de aerotermia que se ubiquen en este municipio, por ello, la normativa que se tiene en cuenta es la autonómica y la nacional.

3.3 SUBVENCIONES

Las ayudas para la ejecución de instalaciones de autoconsumo y almacenamiento son parte del Programa de incentivos al Autoconsumo, Almacenamiento y Climatización con fuentes de energía renovable, regulado por el RD 477/2021, del 29 de junio. El programa cuenta con un presupuesto inicial de 660 millones de euros, ampliables hasta 1320 millones, de los cuales, hasta 900 millones de euros serían para instalaciones de autoconsumo. Estas cantidades están distribuidas entre las distintas comunidades, que son las encargadas de la gestión y de la convocatoria de las ayudas [23].

A este trabajo de fin de máster, le aplica el programa de incentivos 4: realización de instalaciones de autoconsumo, con fuentes de energía renovables (eólicas o fotovoltaicas), en el sector residencial, las administraciones públicas y el tercer sector (entidades privadas sin ánimo de lucro), con o sin almacenamiento. Estos beneficiarios deberán consumir anualmente al menos del 80% de la energía generada con la instalación fotovoltaica o eólica.

La potencia máxima que incentivar en las instalaciones de autoconsumo fotovoltaicas o eólica en este programa será de hasta 5.000 kW.

Para el programa de incentivos 4 las ayudas se definen por valores fijos, llamados módulos, que cubren de manera parcial los costes objeto de subvención, las ayudas se recogen en la tabla 3.

Programa 4	Sector residencial	Administraciones públicas y tercer sector
Instalación fotovoltaica autoconsumo	300 - 600 €/kWp	500 - 1.000 €/kWp
Instalación fotovoltaica autoconsumo colectivo	355 - 710 €/kWp	555 - 1.110 €/kWp

Tabla 3 | Ayudas instalaciones de autoconsumo Andalucía [24]

Las instalaciones sujetas al programa 4 tienen ayudas adicionales para aquellas instalaciones que se encuentran en municipios de hasta 5.000 habitantes, o municipios no urbanos de hasta 20.000 habitantes con núcleos urbanos con una población menor o igual a 5.000 habitantes [24].

En este trabajo también se va a estudiar la posibilidad de incluir un sistema de aerotermia, esta tecnología se encuentra dentro del programa de incentivos 6: realización de instalaciones de energías renovables térmicas en el sector residencial destinadas a la climatización y ACS, la aerotermia aire-aire no entra dentro de este grupo. Las ayudas para este grupo se recogen en la tabla 4.

Programa 6	Sector residencial	Viviendas de propiedad pública y tercer sector
Instalaciones aerotérmicas	500 €/kW (3.000 €/vivienda)	500 €/kW (3.000 €/vivienda)

Tabla 4 | Ayudas instalaciones aerotérmicas Andalucía [24]

3.4 CLASIFICACIÓN DE INSTALACIONES

El Real Decreto 244/2019 establece que las siguientes modalidades de autoconsumo [14]:

- Autoconsumo sin excedentes: se diseñan para consumir toda la energía que producen, sin poder verter los excedentes a la red. Las instalaciones deben contar con un sistema anti vertido para evitar la inyección de los excedentes a la red de distribución. Se incluyen en esta modalidad los siguientes casos:
 - Al incorporar sistemas de almacenamiento energético dimensionados que permitan modular las diferencias temporales entre la generación y el consumo de energía.
 - Se puede demostrar que se puede consumir la totalidad o, al menos, el 90% de la energía generada.
 - Si la red eléctrica no permite la inyección del excedente de energía por las limitaciones establecidas
 - Si se prevé que la capacidad de la red eléctrica se pueda saturar con nuevas instalaciones.

- Autoconsumo con excedentes con compensación: se puede auto consumir la electricidad generada y verter excedentes a la red, consiguiendo un beneficio que se puede mediante una remuneración económica directa con la venta de la electricidad, o reduciendo de la factura eléctrica la energía vertida a la red. Deben cumplir las siguientes condiciones:

- La fuente de energía primaria sea renovable
 - La potencia total de las instalaciones sea inferior a 1.000 kW
 - Realizar un contrato de suministro para servicios auxiliares de producción
 - El consumidor y productor hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes
 - La instalación de producción no tenga un régimen retributivo adicional
- Autoconsumo con excedentes sin compensación: aquellos casos de autoconsumo con excedentes que no cumplan con los requisitos para acogerse a la compensación o aquellos que elijan voluntariamente esta opción.

Además de estas modalidades, el autoconsumo se puede clasificar en individual o colectivo, dependiendo de si se trata de uno o varios consumidores asociados a la instalación de generación. En el caso de autoconsumo colectivo, los consumidores deben estar sujetos a la misma modalidad de autoconsumo. Teniendo en cuenta esta diferenciación, es importante definir el concepto de comunidad energética.

3.5 COMUNIDADES ENERGÉTICAS

Las comunidades energéticas suponen un ahorro energético importante para muchas familias ya que se basan en actividades como el autoconsumo o la generación distribuida. Por tanto, son una forma de hacer frente a la pobreza energética puesto que se consigue reducir la dependencia energética, cumpliendo así los objetivos medioambientales y energéticos establecidos para reducir el impacto climático.

En la normativa europea se introducen dos definiciones de lo que se entiende por comunidad energética:

- Comunidad Ciudadana de Energía, CCE (Directiva UE 2019/944 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad).
- Comunidad de energía renovable, CER (Directiva UE 2018/2001, fomento uso de energía procedente de energía renovable).

En el Real Decreto-ley de 23/2020, de 23 de junio [15], se define el término de comunidades de energía renovable como entidades jurídicas en la participación abierta y voluntaria, autónomas y efectivamente controladas por socios o miembros que están situados en las proximidades de los proyectos de energía renovables que sean propiedad de dichas entidades jurídicas y que estas hayan desarrollado, cuyos socios o miembros sean personas físicas, pymes o autoridades locales, incluidos los municipios y cuya finalidad primordial sea proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde operan, en lugar de ganancias financieras. Estas comunidades se pueden basar en instalaciones de cualquier vector energético, siempre que este sea renovable.

El IDAE ha publicado ya cuatro convocatorias del programa CE-IMPLEMENTA que se encuentra dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia para la ejecución de los fondos *Next Generation EU*, en el cual se resalta la importancia de las comunidades energéticas en la transición energética. Estos fondos dotan de la capacidad financiera necesaria para llevar a cabo las actividades de construcción y puesta en marcha de este tipo de instalaciones relacionadas con la participación social. En las dos primeras convocatorias, se han dado ayudas por valor de 40 millones de euros a 73 comunidades energéticas.

El 41% de los proyectos seleccionados en las dos primeras convocatorias son de actuaciones variadas relacionadas con la eficiencia energética, el autoconsumo, y la electricidad, la movilidad sostenible, la gestión de la demanda y la climatización, e incluyen al menos dos tipos de tecnología, ayudando a encontrar soluciones en sectores donde es difícil la descarbonización.

De la misma forma, el 49% de los proyectos elegidos, se encuentran en municipios de Reto Demográfico, contribuyendo así a lograr los objetivos de cohesión nacional y lucha contra la despoblación, prioridades de la política energética de España [25].

4. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

4.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía emitida por el Sol y se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Las radiaciones que provienen de la superficie solar abarcan desde el infrarrojo hasta el ultravioleta; estas últimas son absorbidas por los gases de la atmósfera ya que sus longitudes de onda son las más cortas.

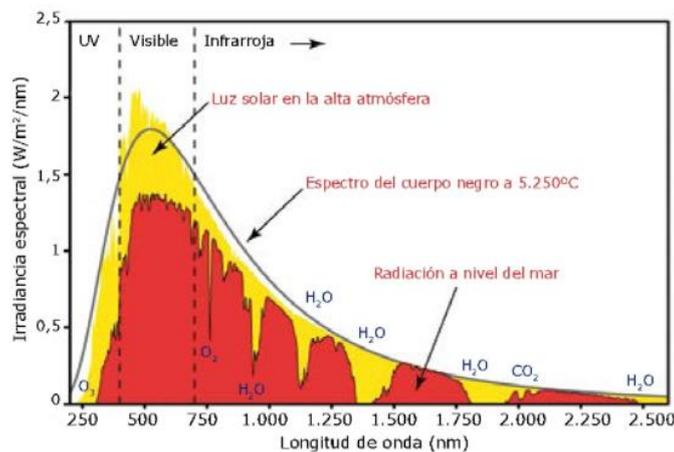


Fig. 11 | Espectro de la radiación solar fuera de la atmósfera (área amarilla) y a nivel del mar para condiciones de cielo despejado (área roja). Fuente: *Phinet*

La irradiancia es la unidad de medida de la radiación solar que recibe la Tierra y sus unidades son W/m^2 . Esta radiación depende de varios factores, como son las condiciones climatológicas, la estación del año, la orientación de la superficie receptora y la latitud del lugar. Los factores anteriores tienen una gran influencia sobre la radiación solar que llega al panel fotovoltaico.

La radiación solar incidente se manifiesta de tres formas distintas:

- Radiación directa: proviene directamente del Sol. La radiación normal directa (DNI) es aquella que incide perpendicularmente sobre el sistema de captación, es decir, la que llega en la dirección del rayo incidente.
- Radiación difusa: es la que se recibe de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación solar del rayo en la misma.
- Radiación reflejada: es aquella reflejada por la superficie terrestre.

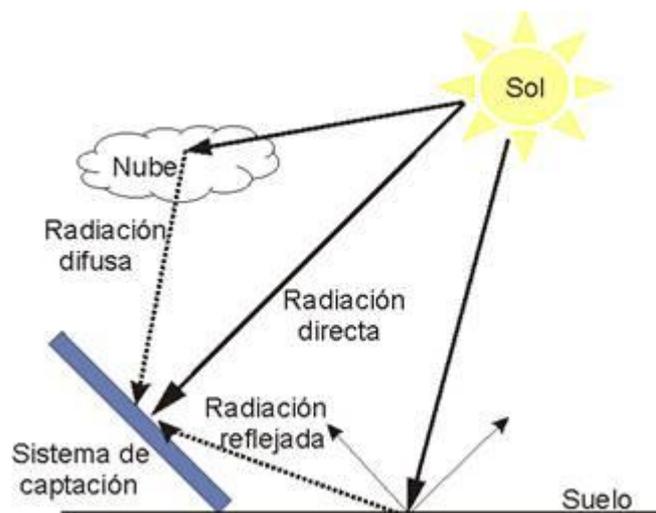


Fig. 12 | Componentes de la radiación solar. Fuente: *monografías.com*

El Sol sigue un movimiento de Este a Oeste respecto a la Tierra. La posición del Sol se define por su altitud sobre el horizonte, y por su acimut (ángulo entre la proyección horizontal de la línea que une el Sol a la Tierra y el eje Norte-Sur en el mismo plano).

El ángulo de incidencia de los rayos solares con la normal de una superficie es un parámetro que afecta a la cantidad de radiación solar que llega a una superficie. Este ángulo está presente la mayor parte del tiempo que los paneles están en funcionamiento, ya que tiene valores nulos en momentos concretos, por ello, es necesario el cálculo del ángulo de incidencia para determinar el comportamiento de los paneles. En función del valor del ángulo de incidencia, el panel rota alrededor de su eje de giro para conseguir que el ángulo de incidencia sea lo menor posible y captar así la mayor cantidad de radiación solar directa.

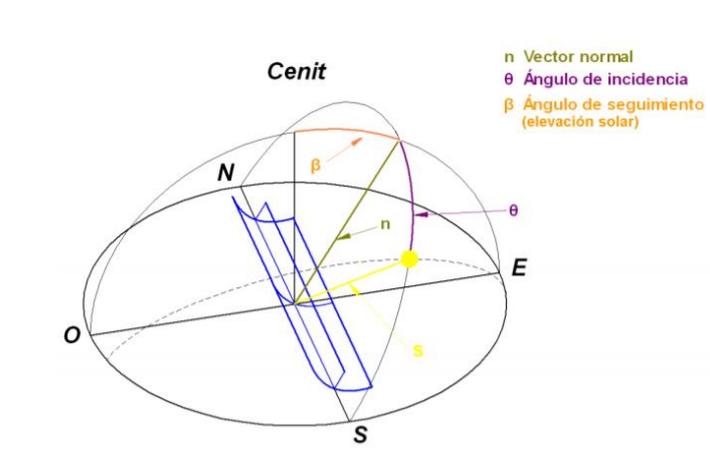


Fig. 13 | Posición del Sol respecto una superficie. Fuente: *IDEAM*

Por la forma de la Tierra, de su superficie y de su posición respecto al Sol, en cada lugar de la Tierra la energía solar que se recibe es distinta. Es por ello que existen puntos del planeta donde conviene más que en otros aprovechar la energía solar.

Se conoce como “cinturón solar” a la zona ubicada entre las latitudes $\pm 35^\circ$ respecto al Ecuador. En esta franja, se concentran los valores máximos de radiación solar, ya que los rayos inciden sobre la superficie terrestre más perpendicularmente sobre esas latitudes, principalmente, en las épocas de verano de cada hemisferio. En el cinturón solar, los niveles de radiación son mayores de 1700 kWh/m^2 al año, por ello, los países ubicados dentro de esta franja son muy interesantes para instalar placas solares dado su potencial para producir energía [26].

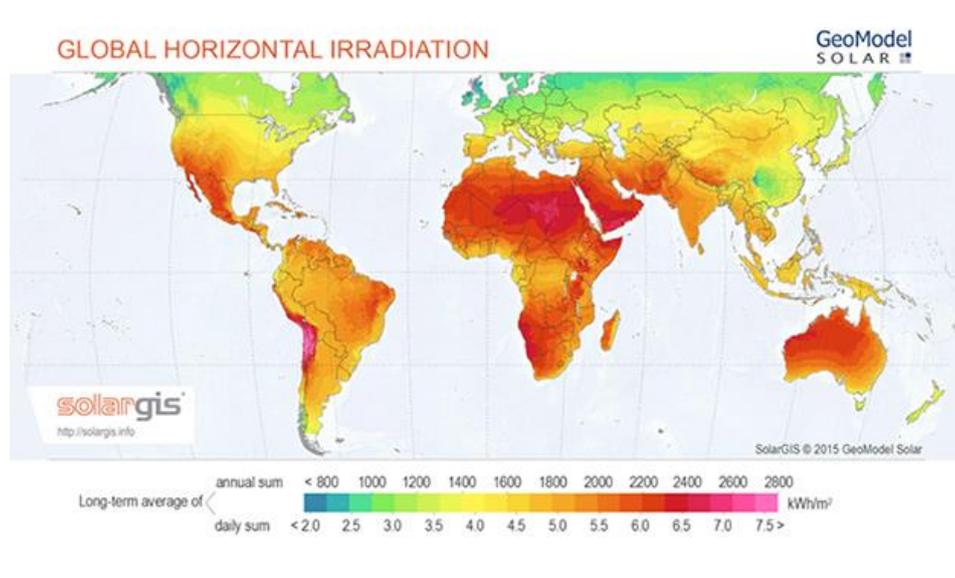


Fig. 14 | Mapa mundial de la radiación global. Fuente: *Solargis*

4.2 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Una instalación fotovoltaica es una fuente de suministro de energía eléctrica, ya que los módulos captan la energía solar y la transforman en electricidad gracias al efecto fotovoltaico que tiene lugar en sus células. Una instalación fotovoltaica conectada a la red contiene los siguientes equipos:

- Módulos fotovoltaicos: transforman la energía solar en electricidad en corriente continua.
- Inversor: convierte la corriente continua en alterna para satisfacer los consumos.
- Batería: almacena la energía durante las horas de producción para poder suministrar electricidad durante los periodos en los que no hay generación. Es un equipo opcional, que en este trabajo no se va a incluir, por lo que no se va a hacer una descripción en detalle.
- Estructura: es el soporte de los módulos fotovoltaicos.

En las instalaciones aisladas se tienen también baterías (almacenan la energía generada en los módulos) y reguladores (controlan los procesos de carga y descarga de las baterías), estos

elementos no se encuentran en las instalaciones conectadas a la red ya que la energía excedente se vende a la red. Además, existen componentes de protección para asegurar el funcionamiento y la seguridad tanto para la instalación como para las personas.

4.2.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

El módulo fotovoltaico, también llamado panel o placa solar, es el dispositivo que capta la energía solar en las celdas fotovoltaicas que lo componen y la transforma en corriente continua. Las celdas están conformadas con silicio enriquecido, complementado con fósforo y boro. Las capas de silicio y el fósforo aportan una carga negativa, mientras que el boro aporta la positiva. De tal forma que, cuando la radiación solar incide en las celdas, estas generan una carga eléctrica. Este fenómeno es conocido como efecto fotovoltaico.

Cada célula solar genera una cantidad de electricidad, que, en el conjunto del panel solar, suministran la cantidad de electricidad destinada al autoconsumo. Los módulos fotovoltaicos, en función del material semiconductor que conforman las células, pueden ser de los siguientes tipos:

- Módulos de silicio monocristalino: son elaborados a partir de bloques de silicio enteros, lo que hace que su fabricación sea costosa. Tienen los índices de eficiencia más altos, del 15% al 18%, y funcionan de mejor forma en condiciones en las que hay poca radiación. Tienen una gran durabilidad y se deterioran poco con el paso del tiempo.
- Módulos de silicio policristalino: el silicio que se utiliza no es homogéneo, por lo que su estructura cristalina no es uniforme., con granos cristalinos de diferentes tamaños y formas. Su eficiencia es menor que la de los módulos monocristalinos, siendo esta entre un 13% y 15%, aunque su coste es también inferior. Su durabilidad es notable y mantienen el rendimiento de una forma parecida a los monocristalinos con el paso de los años.
- Módulos de capa fina: estos módulos tienen añadido un material semiconductor que sirve como soporte físico. El ahorro de material es relevante, ya que se necesita menos cantidad, y tienen la ventaja de que son flexibles, por lo que se pueden

amoldar a cualquier superficie. Son menos eficientes y su vida útil es más corta que las otras dos opciones. Los materiales más utilizados son:

- Silicio amorfo: los costes de fabricación son muy inferiores a los otros módulos de silicio, pero su eficiencia se encuentra en torno al 6% o 7%, y va disminuyendo con el tiempo.
- Teluro de cadmio (CdTe): estos módulos tienen una eficiencia entre el 10% y 11%, pero el inconveniente es el tratamiento y reciclaje del CdTe que se encuentran en las células.
- Arseniuro de galio (GaAs): tienen la eficiencia más alta, cerca del 30%, pero tienen unos costes de fabricación muy elevados. Sus aplicaciones se reducen a proyectos espaciales, donde son aspectos fundamentales el bajo peso y las reducidas dimensiones.

Los módulos más usados hoy en día en las instalaciones fotovoltaicas son los de silicio monocristalino o policristalino, gracias a la combinación de su buen rendimiento y coste de fabricación [27].

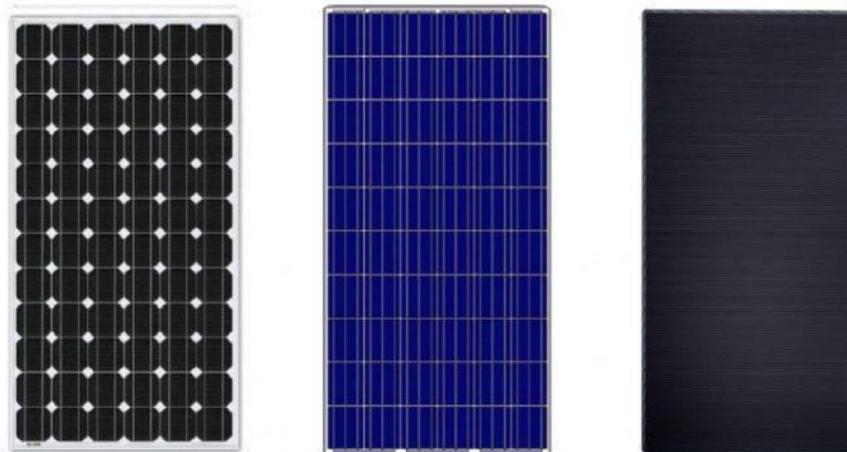


Fig. 15 | Tipos de módulos. Izq. Módulos de silicio monocristalino; Centro Módulos de silicio policristalino; Der. Módulos de silicio amorfo. Fuente: *Tritec Intervento*

4.2.2 INVERSOR

El inversor es un dispositivo que se encarga de convertir la corriente continua en alterna, por ello, no siempre existe en todas las instalaciones fotovoltaicas aisladas y solo es necesario si existen consumos de corriente alterna. En las instalaciones conectadas a la red, son imprescindibles ya que la corriente generada se debe entregar a la red de forma alterna.

En el caso de que sean necesarios para instalaciones aisladas, el inversor debe transformar la corriente continua en alterna con el voltaje y frecuencia necesarias para su aplicación. Incrementan la tensión de la batería hasta los 220V de corriente alterna que necesitan los electrodomésticos de la vivienda.

En las instalaciones conectadas a la red, el inversor debe inyectar la corriente alterna con una forma de onda senoidal a una tensión eficaz de 230V y a 50Hz, dentro de unos valores de tolerancia muy estrechos.

El inversor tiene la función de buscar el punto de máxima potencia en el que deben trabajar los módulos, ya que estos pueden trabajar a una tensión e intensidad que viene definida por su curva característica, la cual depende de las condiciones de irradiancia y de temperatura, el inversor debe determinar qué tensión e intensidad debe operar el módulo para conseguir la máxima potencia.

Existen diferentes tipos de inversores en función de las necesidades de la instalación [28]:

- Inversores de cadena o string: en instalaciones con este tipo de inversores, se pueden conectar módulos separados en distintos conjuntos denominados cadenas, que buscan de forma independiente el punto de máxima potencia. Cada inversor tiene una o más entradas de cadenas de placas fotovoltaicas, por lo que por cada cadena circula la misma intensidad que la del panel que esté generando menos. Este tipo de inversores son los más utilizados, siendo su principal uso en instalaciones sin sombras y con los mismos paneles por cadenas. No es posible incluir una monitorización por panel del sistema fotovoltaico por panel.

- **Microinversor:** son de menor tamaño que los convencionales y ofrecen mejores prestaciones, pero son más costosos. Normalmente, se conectan solo a una o dos placas solares, por lo que transforman la corriente de forma individual para cada panel. Con estos inversores es posible conseguir la máxima potencia de cada panel, se disminuye el efecto sombra y se puede realizar una monitorización del sistema fotovoltaico por panel.
- **Inversor cargador:** son iguales que los anteriores, pero tienen un cargador para las baterías y que es el más utilizados en instalaciones con batería ya que se puede tener una generación eléctrica auxiliar cuando la producción no es suficiente.
- **Inversor híbrido:** se pueden usar en los dos tipos de instalaciones, ya que permite incluir baterías en instalaciones de conexión a red. Está diseñado para aprovechar los recursos de la forma óptima y conseguir una instalación eficiente y con el mayor ahorro posible en instalaciones conectadas a la red.

4.2.3 ESTRUCTURA

En función del tipo de instalación y el emplazamiento disponible para su ubicación, se distinguen los siguientes tipos de estructuras:

- **Estructura fija sobre suelo:** estructura que va fijada sobre el suelo y sobre el que se colocan los módulos con la inclinación elegida para lograr el mayor rendimiento. La sujeción al suelo puede ser con zapatas o fijado en el suelo directamente.
- **Estructuras lastradas:** la estructura se fija sobre la cubierta del emplazamiento, es el más utilizado en autoconsumo. La estructura puede ser inclinada si la cubierta donde se va a instalar no tiene la orientación ni inclinación conveniente y es la estructura la que lo proporciona, o coplanar si ambos parámetros de la cubierta son los adecuados.
- **Estructuras móviles:** se utilizan cuando se quiere maximizar el rendimiento de los paneles. El sistema de seguimiento mueve el panel a lo largo del día en función de la posición del sol para aprovechar la radiación solar directa intentando hacer mínimo

el ángulo de incidencia. El seguidor puede ser de uno o dos ejes, si es de un solo eje el eje de giro puede ser de este a oeste (más común cerca del Ecuador) o de norte a sur (típico en las zonas alejadas del Ecuador), minimizando el ángulo de incidencia desde que sale el sol hasta que se pone. Si el seguidor es de dos ejes, se puede controlar la posición durante el día y adecuarla a la época del año. Los seguidores solares son utilizados principalmente en grandes parques fotovoltaicos.

4.3 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN AEROTÉRMICA

Los sistemas de climatización, como se ha visto en la figura 4, son de los principales consumos energéticos en una vivienda, por lo que buscar una opción más eficiente resulta interesante tanto para la economía del hogar como del país.

Los sistemas de calentamiento que utilizan bombas de calor pueden suplir la misma cantidad de calor que los calentadores tradicionales, pero con un consumo de electricidad mucho menor. Una aplicación de bombas de calor para la climatización es la aerotermia.

La aerotermia consiste en un intercambio de calor entre el sistema aerotérmico y el aire del ambiente exterior, siendo una bomba de calor aerotérmica la encargada de realizar este proceso, la cual utiliza aproximadamente un 75% de energía renovable y un 25% de energía eléctrica [29], y está diseñada para conseguir el máximo rendimiento en condiciones climáticas extremas, tanto en verano como en invierno. Absorbe y recupera la energía que contiene el aire exterior y mediante un intercambiador de calor la transfiere evaporando el refrigerante que circula por el circuito, como se observa en la figura 16.

En los sistemas de climatización tradicionales, la bomba de calor que se utiliza es aire-aire, el espacio donde se encuentra la máquina interior se calienta o enfría con aire. En los sistemas de aerotermia la bomba de calor es aire-agua. Normalmente, en épocas de frío la unidad exterior ejerce de evaporador y la unidad interior como condensador transfiriendo el calor al agua del circuito de calefacción. Si se quiere enfriar en épocas de calor, el proceso es el inverso.

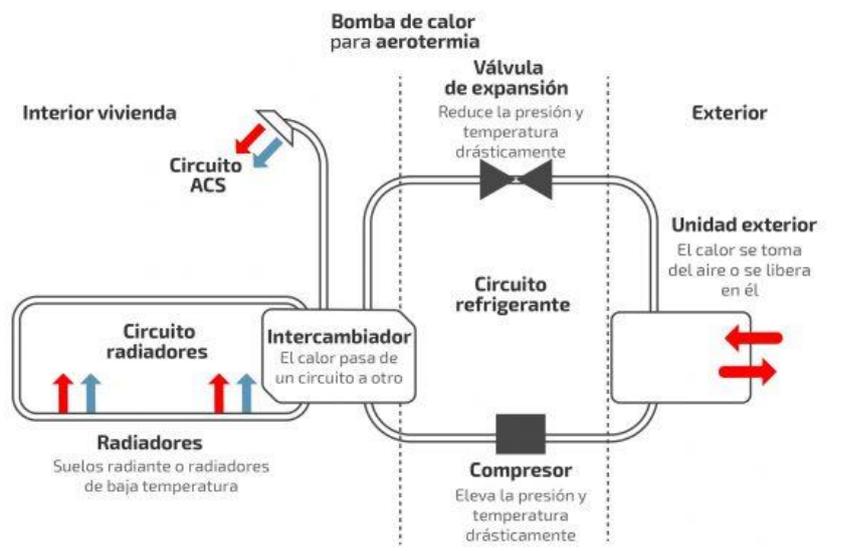


Fig. 16 | Esquema funcionamiento aerotermia [29]

4.3.1 BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA

La bomba de calor es el elemento principal de un sistema de climatización basado en aerotermia y es una máquina que funciona bajo un ciclo de refrigeración y tiene dos partes fundamentales, los focos caliente y frío. En los meses de frío, funciona como calefacción y el foco caliente se ubica en el interior y el frío en el exterior. En los meses de calor, se utiliza para la refrigeración y el foco caliente se encuentra en el exterior y el frío en el interior.

Los dos modos de funcionamiento de la bomba de calor se representan en la figura 17. El ciclo empieza cuando el refrigerante pasa por el compresor y eleva su presión y consecuentemente su temperatura, después pasa al condensador donde cede calor al foco caliente ya que este se encuentra a menor temperatura que el refrigerante. Luego, atraviesa la válvula de expansión donde disminuye la presión y el fluido se enfría. Por último, en el evaporador se evapora y absorbe calor del foco frío.

El uso más eficiente y económico de estas bombas se consigue cuando reversibles, ya que se puede calentar o enfriar en función de la necesidad, esto se consigue controlando el sentido del flujo de refrigerante mediante una válvula de cuatro vías.

Actualmente, estas bombas traen incorporadas un inverter, que consiste en un sistema de control para regular el régimen de trabajo del compresor en función de la demanda energética. Gracias a esto, se consigue que el flujo de refrigerante aumente o disminuya con la velocidad de giro del compresor y modificando las potencias en los intercambiadores.

El compresor utiliza energía eléctrica para su funcionamiento, en el presente trabajo se pretende estudiar la posibilidad de suministrar esta electricidad necesaria mediante una fuente de energía renovable como es la energía solar fotovoltaica.

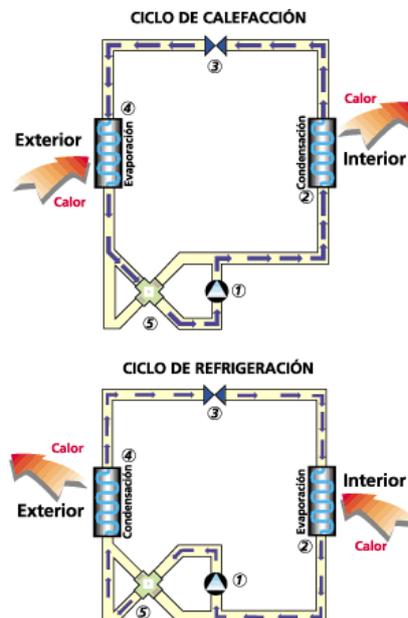


Fig. 17 | Modos de funcionamiento bomba de calor aerotérmica [29]

4.3.2 ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE LA AEROTERMIA

Antes de la instalación de aerotermia, es necesario considerar algunos factores para utilizar este sistema de una manera eficiente y asegurar así la amortización de la inversión inicial que es alta comparada con los sistemas de climatización tradicionales. El rendimiento del sistema depende principalmente de las condiciones climáticas exteriores. En concreto, de la temperatura del aire, estando limitados a una temperatura de aire exterior de -20°C , aunque existen equipos en el mercado que tienen incorporados equipos de apoyo. Mientras menor sea la temperatura exterior, menor será el rendimiento de la bomba de calor, por lo que esta tecnología es más conveniente para climas templados.

El rendimiento de las bombas de calor reversibles depende del modo de funcionamiento en el que esté trabajando la bomba. En el caso de que la demanda sea calefacción el rendimiento se mide con el COP (Coefficient of Performance), mientras que si trabaja en modo refrigeración, el rendimiento se define con el EER (Energy Efficiency Ratio). En las bombas de calor aerotérmicas el COP se encuentra entre 4 y 5, lo que significa que por cada kW eléctrico que se consume, se generan hasta 5 kW térmicos. El COP compara la energía térmica cedida por el equipo al ambiente interior y la energía consumida por el aparato. El EER o coeficiente de eficiencia energética, se define como la relación entre la capacidad frigorífica y la potencia absorbida. Por otro lado, el COP se calcula como el ratio entre la potencia calorífica total y la potencia absorbida por el equipo.

En la figura 18, se representa la variación de los rendimientos según la temperatura exterior y la temperatura de impulsión del agua del sistema de calefacción.

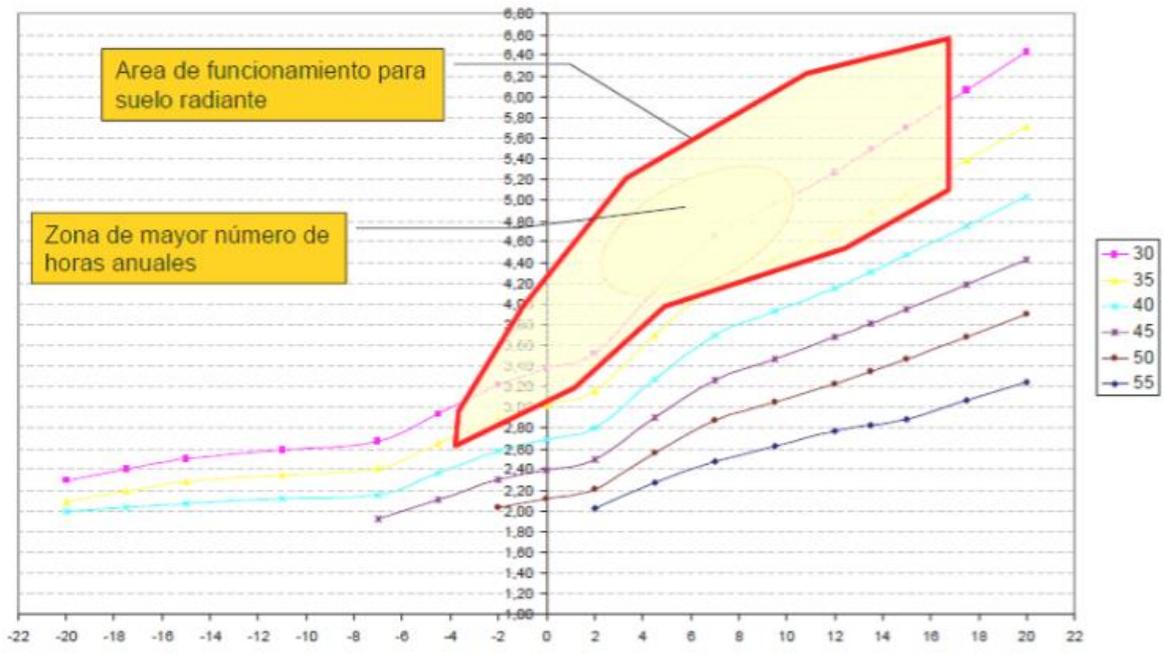


Fig. 18 | Rendimientos de un equipo de aerotermia. Fuente: *Daikin*

En el eje horizontal aparecen los valores de la temperatura a la que se encuentra el ambiente exterior y en el vertical el valor del rendimiento (COP) cuando el equipo funciona en modo calefacción. Las líneas coloreadas representan las temperaturas de impulsión del agua. Mientras menor sea la temperatura de impulsión del agua, y mayor sea la temperatura exterior, mejor es el COP del sistema. Al contrario, mientras menor sea la temperatura exterior peor es el rendimiento del sistema.

5. CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

5.1 LOCALIZACIÓN

El emplazamiento en el que se encuentra el edificio donde se ha realizado el estudio de viabilidad de una instalación fotovoltaica, se encuentra en la provincia de Huelva, en concreto en la localidad de El Rompido, perteneciente al municipio de Cartaya. Se trata de un pueblo costero situado en la desembocadura del Río Piedras en el océano Atlántico, donde en los meses de verano aumenta considerablemente su número de habitantes, siendo su población, según el INE, de 1.996 habitantes. La urbanización de estudio tiene una latitud de $37,22^\circ$ y una longitud de $-7,12^\circ$; con una altura sobre el nivel del mar de 30m.

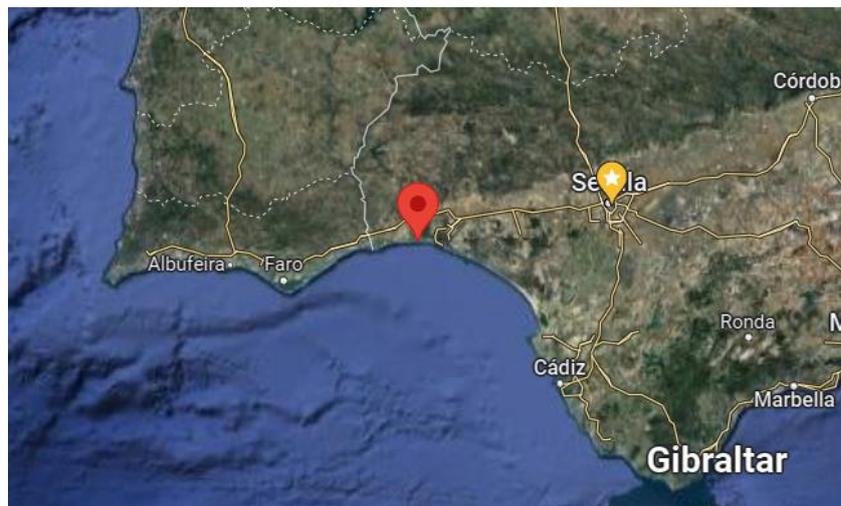


Fig. 19 | Localización de El Rompido

5.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

En el Código Técnico de la Edificación (CTE), en la tabla a, del anexo 2, del Documento Básico (DB) Ahorro de Energía, se puede obtener la zona climática de un emplazamiento en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar. Para una altura sobre el nivel del mar de 30 metros, en la provincia de Huelva, le corresponde la zona climática B4. En la

página web oficial del Código Técnico de la Edificación en España, hay archivos de datos en formato “.met” para cada una de las zonas climáticas en las que se divide el país, en el caso de este trabajo solamente interesa los datos de la zona B4.

Dentro de la misma página web, hay un documento descriptivo en el que se describen los parámetros que caracterizan cada uno de los climas de referencia del DB HE, las correlaciones que se han establecido para determinar las severidades climáticas estacionales y los intervalos de severidades climáticas considerados para definir los climas de referencia del DB HE. Este archivo se convierte desde una extensión “.txt” a “.xlsx” para poder trabajar de una forma más cómoda. Se tienen 8760 líneas con datos horarios formados por los siguientes campos:

- Mes, día y hora
- Temperatura seca y temperatura efectiva del cielo (°C)
- Irradiancia solar directa y difusa sobre una superficie horizontal (W/m²)
- Humedad específica (kgH₂O/kg as) y humedad relativa (%)
- Velocidad del viento (m/s) y su dirección (grados respecto al norte, E+, O-)
- Acimut y cénit solares (°)

En el documento descriptivo se establecen como parámetros determinantes del comportamiento del clima tipo reglamentario la temperatura seca, la humedad relativa y la irradiancia solar global sobre plano horizontal; en la zona climática de estudio se incluyen los valores anuales medios de estos parámetros en la tabla 5. Para el cálculo de la irradiancia horizontal global, se excluyen los valores nulos ya que estos corresponden a las horas nocturnas.

Temperatura seca (°C)	18,52
Humedad relativa (%)	60,31
Irradiancia solar global horizontal (W/m²)	429,44

Tabla 5 | Parámetros climáticos de la zona B4

En la tabla 6, se incluye la irradiancia solar directa, difusa y global para todos los meses del año, y en la figura 20, la representación gráfica de estos valores mensuales.

	Irradiancia solar directa mensual (W/m²)	Irradiancia solar difusa mensual (W/m²)	Irradiancia solar global mensual (W/m²)
Enero	188,50	120,08	308,57
Febrero	217,76	131,90	349,66
Marzo	258,78	142,49	401,27
Abril	307,01	123,49	430,50
Mayo	350,87	105,51	456,39
Junio	366,29	122,68	488,97
Julio	412,20	128,69	540,88
Agosto	396,07	122,29	518,36
Septiembre	314,59	119,44	434,04
Octubre	257,55	132,17	389,71
Noviembre	187,46	137,80	325,26
Diciembre	181,52	134,98	316,50

Tabla 6 | Irradiancia solar mensual

En la figura 20, se muestran los valores mensuales promedio de la radiación global, directa y difusa; sin tener en cuenta las horas nocturnas. Como era de esperar, los meses con valores más altos de radiación son los de junio, julio y agosto.

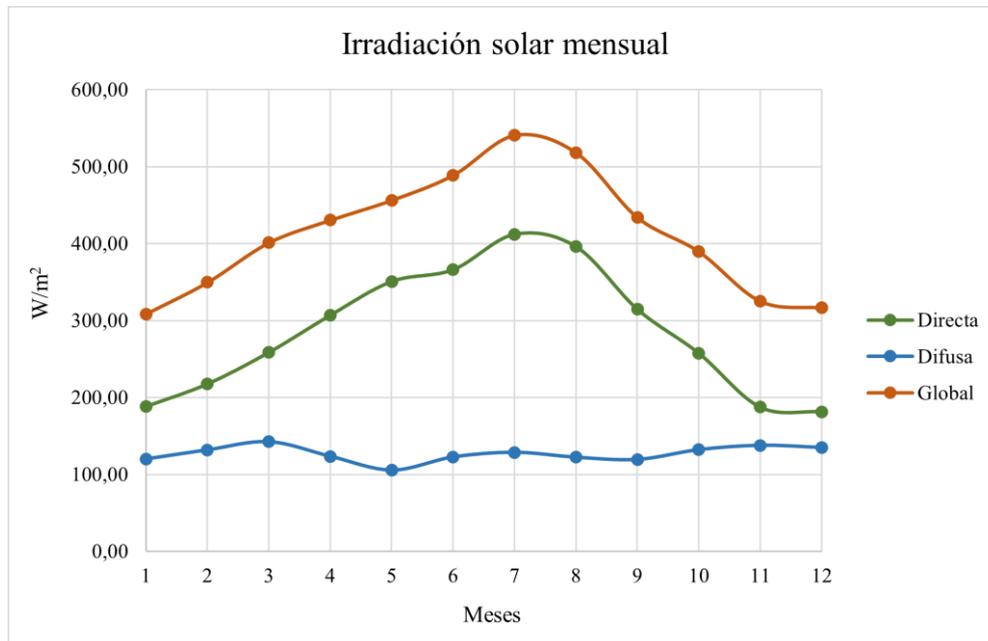


Fig. 20 | Irradiación solar mensual

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA URBANIZACIÓN

En la figura 21, se presenta una vista espacial de Google Earth la urbanización donde se va a realizar el estudio. Cuenta con cuatro bloques de viviendas, cada uno con 3 plantas (bajo, primero y segundo) y con un total de 15 viviendas por bloque. Además, cuenta con dos piscinas y dos pistas de pádel. Google Earth tiene una herramienta con la que se pueden medir distancias y áreas. El área disponible para instalar los paneles fotovoltaicos en los tejados de cada uno de los bloques es de aproximadamente de 360 m², siendo el largo de 67 m y el ancho de 5,40 m.



Fig. 21 | Vista aérea de la urbanización

Con la instalación solar fotovoltaica se pretende satisfacer los consumos de los equipos de aerotermia (calefacción, refrigeración y ACS) y de los electrodomésticos que tiene cada una de las viviendas, además de algunos consumos propios de la urbanización como las bombas y las luces de las piscinas, las luces de las pistas de pádel y el alumbrado de las zonas comunes de la urbanización.

6. CONSUMOS

6.1 CONSUMO ELÉCTRICO PROPIO DE LA URBANIZACIÓN

En primer lugar, se va a analizar el consumo por usos dentro de la vivienda. El IDAE cuenta con un estudio sobre los consumos del sector residencial en España [30]. En este informe se define el consumo anual medio por servicio en función de las zonas climáticas establecidas en este estudio (continental, mediterránea y atlántica norte) y en función de si la vivienda es unifamiliar o se trata de un piso. El emplazamiento elegido está situado a orillas del Océano Atlántico, pero en este caso su zona climática es mediterránea ya que la atlántica es específica para el norte de España. Teniendo esto en cuenta, además que el tipo de vivienda en la urbanización son pisos, el consumo anual por servicio se distribuye conforme a la tabla 7.

El consumo eléctrico de la vivienda en un año será por tanto de 3.040 kWh. Se puede suponer, como en estos consumos no están considerados los equipos de calefacción y refrigeración, que esta demanda se distribuye de manera uniforme a lo largo del año. Así, el consumo mensual eléctrico considerado en esta sección es de 254 kWh.

En el mismo informe [30], también se incluye el consumo medio anual por electrodoméstico, el cual se recoge en la tabla 8.

Servicios	Consumo [kWh]
Cocina	492
Iluminación	476
Electrodomésticos	1.839
Standby	233

Tabla 7 | Consumo medio anual por servicio [30]

Electrodoméstico	Consumo [kWh]
Frigorífico	673
Congelador	614
Lavadora	252
Lavavajillas	230
Secadora	260
Horno	205
TV	255
Ordenadores	170
Standby	229
Resto de electrodomésticos	57

Tabla 8 | Consumo medio anual por electrodoméstico [30]

Una vez se ha estudiado el consumo eléctrico de cada vivienda, se procede a evaluar el consumo eléctrico de las zonas comunes de la urbanización.

La urbanización tiene puntos de iluminación para las zonas comunes. Se ha supuesto que se emplean luces LED con un consumo de 15 W por cada foco. La urbanización cuenta con un total de 100 puntos de luz, que están encendidas un total de doce horas al día. El consumo mensual es el de la tabla 10.

Como se ha explicado en el punto 5.3, la urbanización tiene dos pistas de pádel, las cuales deben contar con focos que las iluminen durante las horas de poca luz. Para determinar la luminosidad necesaria, hay que consultar la norma UNE-EN 12193, la cual indica cómo debe ser la iluminación de las instalaciones deportivas para lograr buenas condiciones visuales. En función del uso que se le vaya a dar a las pistas, esta norma define los niveles mínimos de iluminación que se muestran en la tabla 9.

Niveles mínimos de iluminación para exteriores	Iluminancia horizontal (lux)	Uniformidad
Competiciones internacionales y nacionales	500	0,7
Competiciones regionales y entrenamiento de alto nivel	300	0,7
Competiciones locales, entrenamiento, y uso recreativo	200	0,5

Tabla 9 | Niveles de iluminación pistas de pádel. Fuente: *UNE-EN 12193*

En la urbanización las pistas de pádel van a tener un uso principalmente recreativo. Por tanto, para cubrir los 200 lux, se pueden instalar 8 focos LED de 100W. El uso de las pistas de pádel es fundamentalmente durante los meses de verano, que es cuando hay mayor afluencia en la urbanización. Así, si se define que las luces estarán encendidas todos los días de verano durante dos horas al día (de 20:00-22:00) y, asumiendo que el resto del año tendrán un uso aproximado de tres horas a la semana, pero solo se utilizará una de las dos pistas.

En la urbanización, también existen pequeños postes de luz que alumbran las zonas comunes (jardines, pasillos, piscinas o zonas de juego) durante las horas nocturnas.

El consumo eléctrico por mes de la iluminación de las pistas de pádel se recoge en la tabla 10.

Mes	Consumo luces pistas de pádel [kWh]	Consumo iluminación zonas comunes [kWh]
Enero	10,629	558
Febrero	9,600	504
Marzo	10,629	558
Abril	10,286	540
Mayo	10,629	558
Junio	96,000	540
Julio	99,200	558
Agosto	99,200	558
Septiembre	96,000	540
Octubre	10,629	558
Noviembre	10,286	540
Diciembre	10,629	558

Tabla 10 | Consumo eléctrico iluminación pistas de pádel y zonas comunes

La urbanización cuenta con dos piscinas, una de 24 metros de largo y de 8 metros de ancho, con una profundidad media de 1,70 metros, por tanto, tiene un volumen aproximado de 330 m³. La otra piscina tiene una forma irregular, y tiene un área aproximada de 410 m², con una profundidad media de 1,70 metros, tiene un volumen aproximado de 700 m³.

El aspecto más importante a la hora de elegir una bomba es el caudal de filtración adecuado para la piscina. Este dato se obtiene dividiendo por cuatro el volumen del vaso de la piscina, esto se debe a la necesidad de filtrar por completo el agua cada cuatro horas, así se obtiene el caudal en m³/h.

Este valor corresponde al caudal necesario para mantener la piscina limpia en condiciones normales de uso. Sin embargo, es importante escoger una bomba con un caudal ligeramente superior para compensar las pérdidas de presión por la distancia de la bomba a la piscina y la que se debe al recorrido que hace el agua a través de las tuberías.

La bomba de la piscina de mayor tamaño debe ser capaz de manejar un caudal de $200 \text{ m}^3/\text{h}$, mientras que la bomba de la otra piscina debe soportar un caudal de $100 \text{ m}^3/\text{h}$. El fabricante elegido para las bombas de las piscinas es AstralPool, empresa especializada en bombas para piscinas de todos los tamaños. Se han elegido el modelo Aral C3000 (3000 rpm) y Aral C1500 (1500 rpm) para las piscinas de menor y mayor tamaño respectivamente. Se trata de bombas centrífugas fabricadas en hierro fundido, que incorporan una voluta en espiral y el prefiltro incorporado.



Fig. 22 | Bombas de las piscinas. Izquierda: modelo Aral C1500. Derecha: modelo Aral C3000. Fuente: *AstraPool*

En las fichas técnicas de los modelos se puede conseguir la potencia que consume cada una de estas bombas en función del caudal que deben manejar. Así, la bomba de la piscina de menor tamaño tendrá una potencia de $8,5 \text{ kW}$ (figura 23), mientras que la bomba de la piscina de mayor tamaño tendrá una potencia de 14 kW (figura 24).

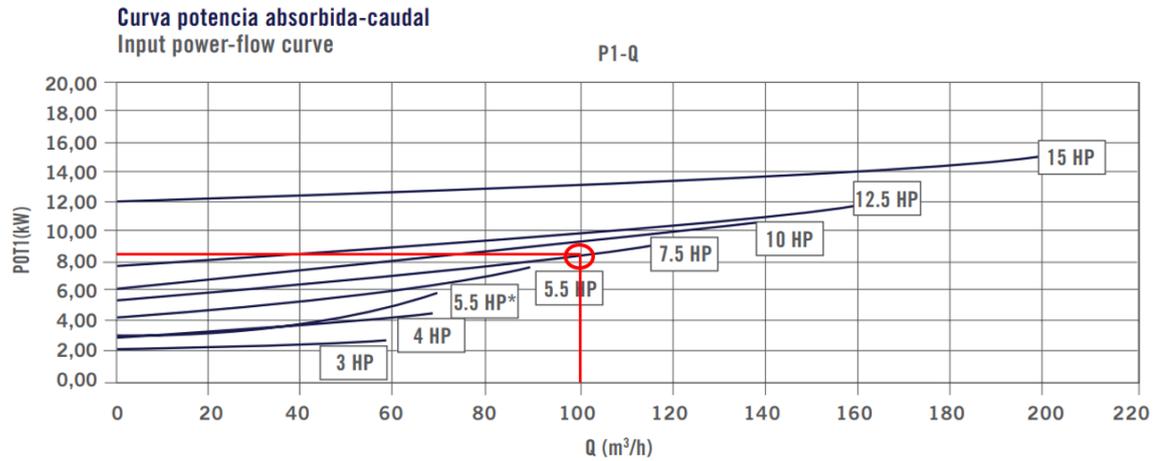


Fig. 23 | Curva potencia absorbida-caudal modelo Aral C3000. Fuente: *AstraPool*

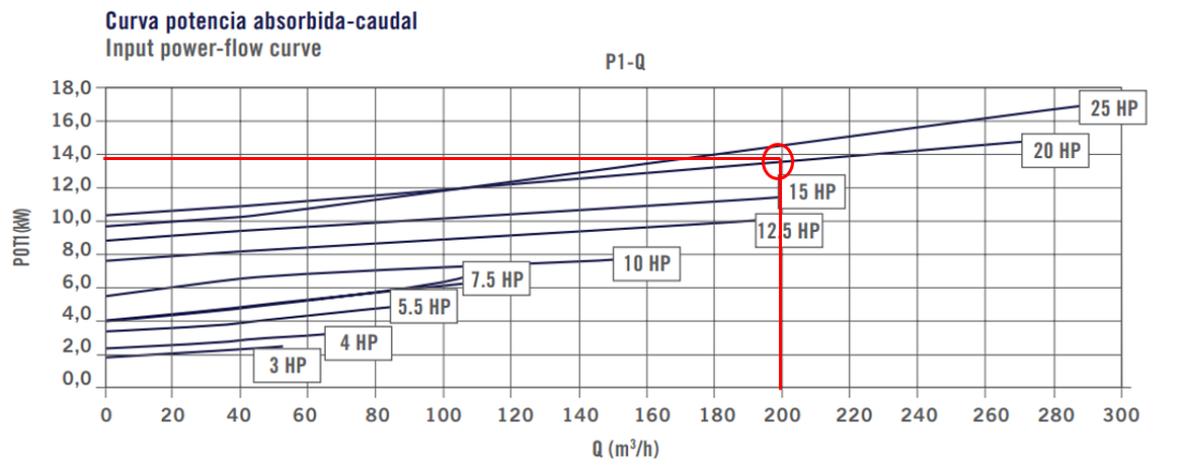


Fig. 24 | Curva potencia absorbida-caudal modelo Aral C1500. Fuente: *AstraPool*

Las piscinas cuentan también con iluminación LED. El mismo fabricante de las bombas ofrece también material de iluminación, se ha elegido el modelo LumiPlus Mini V2 de bombillas LED para iluminar las piscinas durante las horas nocturnas. Estas bombillas tienen un consumo individual de 4W para blanco y RGB. La piscina grande tendrá un total de 20 bombillas, mientras que la de menor tamaño contará con 10, y estarán un total de 10 horas diarias encendidas.

Teniendo en cuenta que las piscinas de la urbanización solo están abiertas para el baño durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, el consumo mensual de las bombas y de la iluminación de las piscinas es el de la tabla 11.

Mes	Consumo bomba piscina grande [kWh]	Consumo bomba piscina pequeña [kWh]	Consumo luces piscina grande [kWh]	Consumo luces piscina pequeña [kWh]
Enero	0	0	24,8	12,4
Febrero	0	0	22,4	11,2
Marzo	0	0	24,8	12,4
Abril	0	0	24	12
Mayo	2604	1581	24,8	12,4
Junio	2520	1530	24	12
Julio	2604	1581	24,8	12,4
Agosto	2604	1581	24,8	12,4
Septiembre	2520	1530	24	12
Octubre	0	0	24,8	12,4
Noviembre	0	0	24	12
Diciembre	0	0	24,8	12,4

Tabla 11 | Consumos de las piscinas (bombas e iluminación)

Mes	Consumo [kWh]
Enero	16.059
Febrero	16.001
Marzo	16.059
Abril	16.040
Mayo	20.244
Junio	20.175
Julio	20.333
Agosto	20.333
Septiembre	20.175
Octubre	16.059
Noviembre	16.040
Diciembre	16.059

Tabla 12 | Consumo eléctrico propio de la urbanización

6.2 CONSUMO TÉRMICO

El cálculo de la demanda térmica de la urbanización se va a realizar para la vivienda tipo definida y el cálculo se extrapola para todo el conjunto de viviendas. Los cálculos se han realizado siguiendo la metodología presentada en [31].

Para hallar la demanda corregida se trabaja con el modelo de edificios de nueva construcción, de donde se saca la demanda de referencia (DR), en función del valor C1, el cual depende del aislamiento y determina la calificación energética. Como el conjunto residencial es muy reciente, terminó de construirse en 2018, tiene la máxima calificación energética (A), a la que le corresponde un valor de C1 de 0,0075.

En el apéndice B “Correlaciones de severidades climáticas estacionales y definición de zonas climáticas” del documento descriptivo de los climas de referencia del CTE, se definen los intervalos para la zonificación de la zona climática tanto en invierno como en verano. En este documento se explica cómo se obtienen las severidades climáticas para ambas estaciones del año.

La severidad climática de invierno se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$SCI = a \cdot GD + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot GD^2 + d \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2 + e$$

GD: suma de los grados-día de invierno en base 20 para los meses desde octubre a mayo.

n/N: cociente entre el número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas por separado para los meses desde octubre a mayo.

a, b, c, d, e: coeficientes de regresión, sus valores se recogen en la tabla 13.

a	b	c	d	e
3,546E-04	-4,043E-01	8,394E-08	-7,325E-02	-1,137E-01

Tabla 13 | Coeficientes de regresión para la severidad climática de invierno

Se obtiene una severidad climática de invierno (SCI) de 0,34, lo que corresponde a una zona climática de invierno B, según los intervalos recogidos en la tabla 14.

a	b	c	d	e
0<SCI≤0,23	0,23<SCI≤0,5	0,5<SCI≤0,93	0,94<SCI≤1,51	SCI>1,51

Tabla 14 | Intervalos para la zonificación en invierno

La severidad climática de verano se calcula con la siguiente ecuación:

$$SCV = a \cdot GD + b \cdot GD^2 + c$$

GD: suma de los grados-día de verano en base 20 para los meses desde junio a septiembre.

a, b, c: coeficientes de regresión, cuyos valores son los de la tabla 15.

a	b	c
2,990E-3	-1,1597E-07	-1,713E-1

Tabla 15 | Coeficientes de regresión para la severidad climática de verano

Procediendo como se ha comentado, se obtiene una severidad climática de verano (SCV) de 1,41. Según los intervalos establecidos para determinar la zona climática de verano (recogidos en la tabla 16), le corresponde una zona 4.

1	2	3	4
SCV ≤ 0,5	0,5 < SCV ≤ 0,83	0,83 < SCV ≤ 1,38	SCV > 1,38

Tabla 16 | Intervalos para la zonificación en verano

En función de las zonas climáticas de invierno y de verano, existen unos indicadores de dispersión de la demanda en función del tipo de vivienda (unifamiliar o bloque) y la zona climática de invierno o verano. Estos valores se encuentran en el anexo III “Valores medios de los indicadores de eficiencia energética”, del documento “Calificación de la eficiencia energética de los edificios” [32]. De las tablas III.8 y III.9 de [32], para viviendas en bloque, ZCI B y ZCV 4, se obtienen unos indicadores de dispersión (R) de 1,7 para la demanda de calefacción y de 1,5 para la demanda de refrigeración.

La demanda corregida se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = DR \cdot \left(\frac{I_0}{I_r} \right)$$

Donde DR es la demanda de referencia, cuyos valores se encuentran en la tabla III.2 de [32]. Para la zona climática B4 y para edificios en bloque, se tiene una demanda de referencia de calefacción de 20,90 kWh/m² y una demanda de referencia de climatización de 21 kWh/m².

Por otro lado, el cociente I₀/ I_r, se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{I_0}{I_r} = \frac{1 + (C_1 - 0,6) \cdot 2 \cdot (R - 1)}{R}$$

Para invierno tiene un valor de 0,156, y para verano de 0,317.

El CTE establece un procedimiento para obtener la demanda horaria en invierno y en verano, en función del índice de severidad climática. Se emplea un desarrollo en serie de Taylor para tres meses; para extenderlo a seis meses, se aplica un factor de proporcionalidad que ajuste la demanda horaria obtenida como suma de los seis meses con la demanda anual de la tabla precedente. Este factor se aplica a cada hora y se consigue así la demanda corregida horaria y extendida a los seis meses. Este procedimiento conduce a una expresión horaria de la demanda específica de referencia (Ecuación (1)), donde:

- El índice “*i*” se extiende desde 1 hasta 4368 (número de horas de enero a marzo y de octubre a diciembre).
- N_d es igual a 182 días (número de días en el mismo periodo)
- N_m es igual a 6 (número de meses)

La demanda de referencia para invierno (DR_i , kWh/m²) se calcula mediante la Ecuación (1), donde SCI es el índice de severidad climática de invierno, que se define en la Ecuación (2), donde RAD es la radiación global media acumulada sobre la superficie horizontal durante los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre (Ecuación (3)), y GD son los grados-día medios (a una temperatura base $T_b = 20$ °C) para los mismos meses (Ecuación (4)). El cálculo de RAD requiere la radiación horaria global sobre superficie horizontal (r_k), mientras que el cálculo de DD requiere la diferencia horaria de temperatura (ΔT_k), definida por la Ecuación (5). Los valores horarios de están disponibles para cada zona climática en la página web del CTE.

Este procedimiento conduce a una expresión horaria de la demanda específica de referencia

$$DR_i = \frac{\alpha + \beta \cdot (SCI_0 - \rho \cdot RAD_0 - \delta \cdot GD_0)}{24 \cdot N_d} + \left(\frac{\beta \cdot \rho}{N_m} \right) \cdot r_i + \left(\frac{\beta \cdot \delta}{24 \cdot N_m} \right) \cdot \Delta T_i \quad (1)$$

$$SCI_0 = a \cdot RAD_0 + b \cdot GD_0 + c \cdot RAD_0 \cdot GD_0 + d \cdot RAD_0^2 + e \cdot GD_0^2 + f \quad (2)$$

$$RAD_0 = \frac{\sum_{k=1}^{24 \cdot N_d} r_k}{N_m} \quad (3)$$

$$GD_0 = \frac{\sum_{k=1}^{24 \cdot N_d} \Delta T_k}{24 \cdot N_m} \quad (4)$$

$$\Delta T_k = \begin{cases} T_b - T_k & \text{si } T_b > T_k \\ 0 & \text{si } T_b \leq T_k \end{cases} \quad (5)$$

$$\rho = a + 2 \cdot d \cdot RAD_0 + c \cdot GD_0 \quad \delta = b + c \cdot RAD_0 + 2 \cdot e \cdot GD_0$$

Los coeficientes a, b, c, d, e y f, se incluyen en la tabla 17.

a	b	c	d	e	f
-8,35E-03	3,72E-03	-8,62E-06	4,88E-05	7,15E-07	-6,81E-02

Tabla 17 | Coeficientes correlación severidad climática invierno

Se tienen los siguientes resultados:

$$\rho = -5,13 \cdot 10^{-3} \quad \delta = 3,57 \cdot 10^{-3}$$

Los coeficientes necesarios para obtener la demanda de referencia en invierno se recogen en la tabla 18. En el caso de este trabajo corresponden a viviendas en bloque.

	α	β
Viviendas unifamiliares	9,29	54,98
Viviendas en bloque	3,51	39,57

Tabla 18 | Coeficientes para obtener la demanda de referencia en invierno

La demanda de referencia para verano se calcula siguiendo el mismo procedimiento y mediante las siguientes ecuaciones:

$$DR_i = \frac{\alpha + \beta \cdot (SCI_0 - \rho \cdot RAD_0 - \delta \cdot GD_0)}{24 \cdot N_d} + \left(\frac{\beta \cdot \rho}{N_m}\right) \cdot r_i + \left(\frac{\beta \cdot \delta}{24 \cdot N_m}\right) \cdot \Delta T_i$$

$$SCV_0 = a \cdot RAD_0 + b \cdot GD_0 + c \cdot RAD_0 \cdot GD_0 + d \cdot RAD_0^2 + e \cdot GD_0^2 + f$$

$$RAD_0 = \frac{\sum_{k=1}^{24 \cdot N_d} r_k}{N_m} \quad GD_0 = \frac{\sum_{k=1}^{24 \cdot N_d} \Delta T_k}{24 \cdot N_m} \quad \Delta T_k = \begin{cases} T_k - T_b & \text{si } T_k > T_b \\ 0 & \text{si } T_k \leq T_b \end{cases}$$

$$\rho = a + 2 \cdot d \cdot RAD_0 + c \cdot GD_0 \quad \delta = b + c \cdot RAD_0 + 2 \cdot e \cdot GD_0$$

Los coeficientes de correlación para la severidad climática de verano (a, b, c, d, e y f) se incluyen en la tabla 19.

a	b	c	d	e	f
3,724E-03	1,409E-02	-1,869E-05	-2,053E-06	-1,389E-05	-5,434E-01

Tabla 19 | Coeficientes de correlación severidad climática verano

Se tienen los siguientes resultados:

$$\rho = 1,35 \cdot 10^{-4} \quad \delta = 6,89 \cdot 10^{-3}$$

Los coeficientes necesarios para obtener la demanda de referencia en verano se recogen en la tabla 20. En el caso de este trabajo corresponden a viviendas en bloque.

	α	β
Viviendas unifamiliares	-4,24	20,41
Viviendas en bloque	-3,44	14,44

Tabla 20 | Coeficientes para obtener la demanda de referencia en verano

El cálculo de la demanda térmica, tanto calefacción como refrigeración, se ha realizado para una vivienda tipo de 115 m², los valores de esta demanda en todos los meses del año se incluyen en la tabla 21.

Mes	D [kWh]	Tipo
Enero	84,233	CALE
Febrero	71,820	CALE
Marzo	69,437	CALE
Abril	26,866	REF
Mayo	64,282	REF
Junio	119,569	REF
Julio	215,871	REF
Agosto	209,782	REF
Septiembre	128,380	REF
Octubre	21,071	CALE
Noviembre	50,756	CALE
Diciembre	77,347	CALE

Tabla 21 | Demanda térmica mensual [kWh]

Una vez ordenada la demanda en cada hora del año de mayor a menor, se obtiene la gráfica que se presenta en la figura 25, conocida generalmente como curva monótona de demanda. En la figura 26, se representa en cada mes del año la demanda térmica en kWh. Los valores en color rojo y que aparecen por debajo del eje de abscisas, son los que corresponden a una demanda de calefacción durante los meses de invierno. Por otro lado, los valores por encima del eje horizontal son los valores de la demanda térmica de refrigeración en los meses de verano. Los equipos de climatización se deben seleccionar en función de la demanda de refrigeración, ya que el valor máximo que se debe satisfacer de refrigeración es mayor que el de calefacción.

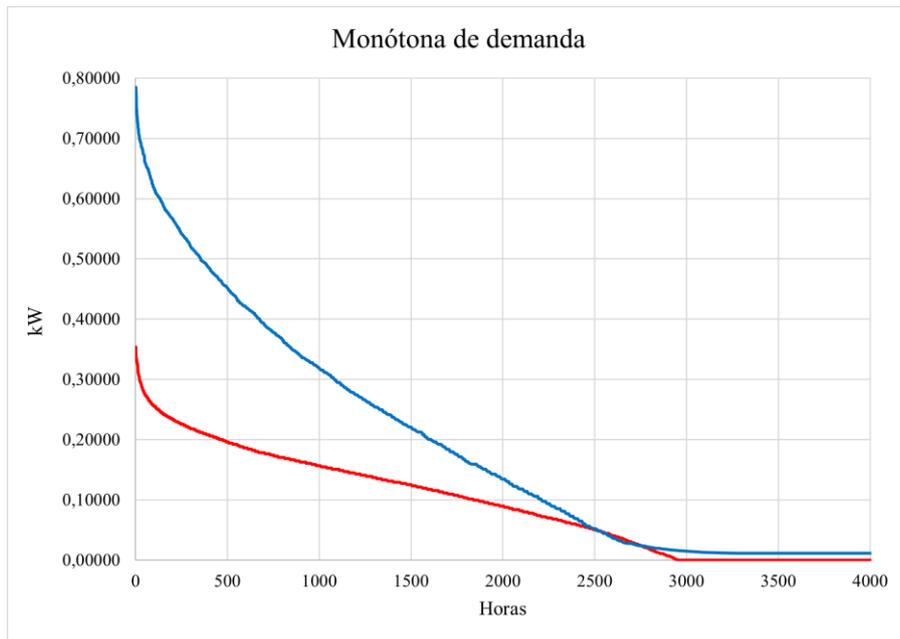


Fig. 25 | Monótona de demanda térmica

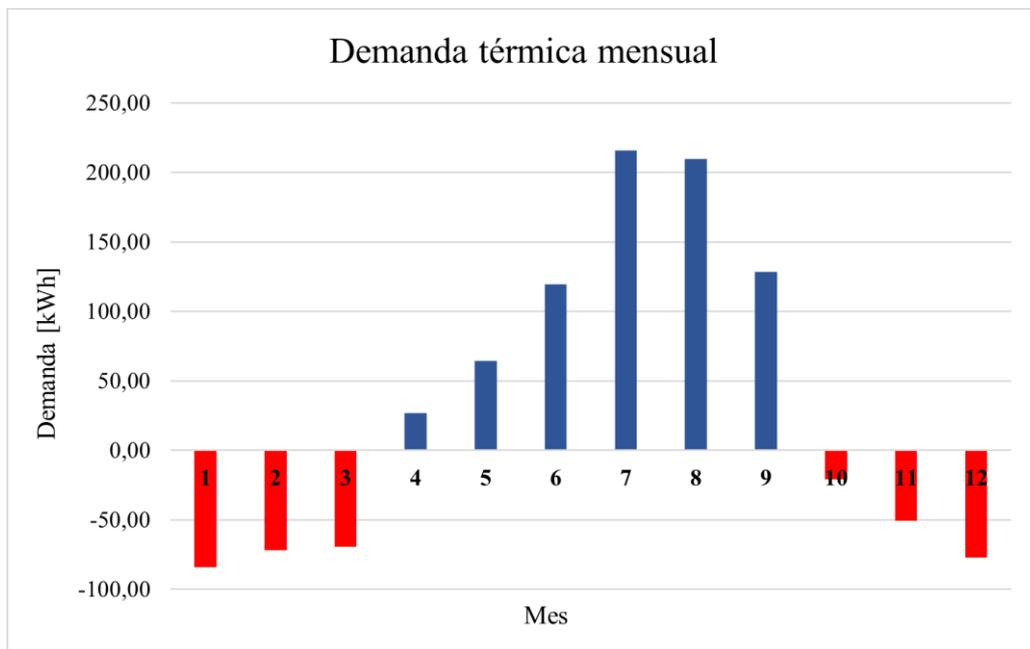


Fig. 26 | Demanda térmica mensual [kWh]

6.3 CONSUMO DE ACS

La demanda de ACS de la urbanización se va a calcular siguiendo el Documento Básico HE Ahorro de Energía, actualizado en junio de 2022. En la sección HE 4 “Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria”, se establece que la contribución mínima de energía procedente de fuentes renovables cubrirá al menos el 70% de la demanda energética anual para ACS y para climatización de la piscina, obtenida a partir de los valores mensuales. Esta contribución mínima se puede reducir al 60% cuando la demanda de ACS sea inferior a 5000 l/d.

En el mismo apartado, se determina que para las aportaciones de vectores considerados en el perímetro in situ, como la energía ambiente capturada por las bombas de calor, por paneles solares térmicos o las aportaciones de energía fotovoltaica, se considera un factor de paso de energía final a energía primaria renovable ($f_{ep,ren}$) de 1,0 kWh/kWhf y una factor de paso de energía final a energía primaria total ($f_{ep,tot}$) de 1,0 kWh/kWhf, por lo que la relación $f_{ep,ren}/f_{ep,tot}$ es igual a 1,0. Para estos vectores, se considera un rendimiento implícito en la conversión de demanda a energía final de 1,0. Por ello, sus contribuciones se traducen directamente en demanda de origen renovable [32].

En el anexo F “Demanda de referencia de ACS” del mismo documento, se define que la demanda de referencia de ACS para edificios de uso residencial privado se calcula considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona (a 60°C). En el caso de viviendas multifamiliares, existe un factor de centralización según la tabla 22. Este factor de centralización afecta a las instalaciones de ACS que alimentan a múltiples viviendas, reduciendo la demanda de ACS según el número de viviendas atendidas.

Nº viviendas	$N \leq 3$	$4 \leq N \leq 10$	$11 \leq N \leq 20$	$21 \leq N \leq 50$	$51 \leq N \leq 75$	$76 \leq N \leq 100$	$N \geq 101$
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Tabla 22 | Factor de centralización para demanda de ACS

En el caso de la urbanización donde se va a realizar el estudio, se va a colocar una instalación de ACS en cada vivienda. En una primera iteración, se había planteado la opción de satisfacer la demanda de ACS por bloque de viviendas, sin embargo, los acumuladores requerían un gran volumen que es muy difícil de encontrar en el mercado, por lo que cada vivienda contará con su propio sistema para calentar el ACS que consuma. Esta opción hace que sea más sencillo que cada vivienda controle su propio consumo, puesto que, si la alimentación es comunitaria, se deberían instalar dispositivos que controlen cuál es el consumo de cada vivienda.

Se ha supuesto que, en la urbanización, cada vivienda tiene una ocupación media de cuatro personas. Así, la demanda de ACS en cada vivienda de la urbanización es la siguiente:

$$D_{ACS} = n^{\circ}personas * 28 \frac{L}{dia \cdot persona} * n^{\circ}dias$$

La demanda de ACS en L/mes por vivienda es la siguiente:

Mes	Demanda ACS mensual (L/mes)
Enero	3472,00
Febrero	3136,00
Marzo	3472,00
Abril	3360,00
Mayo	3472,00
Junio	3360,00
Julio	3472,00
Agosto	3472,00
Septiembre	3360,00
Octubre	3472,00
Noviembre	3360,00
Diciembre	3472,00

Tabla 23 | Demanda de ACS mensual (L/mes) por vivienda

En el anexo G del DB HE Ahorro de energía, se incluye una tabla que contiene la temperatura diaria media mensual del agua fría de red para las capitales de provincia. Así, para la provincia de Huelva, se tienen los siguientes valores en °C, recogidos en la tabla 24.

Mes	Temperatura de agua de red (°C)
Enero	12
Febrero	12
Marzo	13
Abril	14
Mayo	16
Junio	18
Julio	20
Agosto	20
Septiembre	19
Octubre	17
Noviembre	14
Diciembre	12

Tabla 24 | Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C) en Huelva

Para conseguir la temperatura de referencia de 60°C que establece el CTE, hay que suministrar una energía al agua de red que se calcula de la siguiente forma:

$$E = D_{ACS} * C_{p,agua} * (60 - T_{red})$$

Siendo el calor específico del agua $4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$, que, expresados en términos de energía, es igual a $0,00116 \frac{kWh}{kg \cdot K}$.

Con los resultados obtenidos en las tablas 23 y 24, la demanda energética mensual para ACS en cada una de las viviendas se incluye en la tabla 25.

Mes	Demanda energética para ACS (kWh)
Enero	193,32
Febrero	174,61
Marzo	189,29
Abril	179,29
Mayo	177,21
Junio	163,70
Julio	161,10
Agosto	161,10
Septiembre	159,80
Octubre	173,18
Noviembre	179,29
Diciembre	193,32

Tabla 25 | Demanda energética para ACS en kWh por vivienda

6.4 CONSUMO ELÉCTRICO AEROTERMIA

Una vez se han calculado la demanda térmica y la demanda de ACS, hay que elegir el equipo de aerotermia que se va a encargar de satisfacer dichas demandas. La empresa seleccionada para los equipos de aerotermia es Ariston Group, empresa italiana muy enfocada a ofrecer soluciones renovables para el hogar. Uno de los principales motivos por los que se ha elegido esta marca, es porque gran parte de sus equipos ofrecen la posibilidad de conectarse a placas fotovoltaicas que suministren la electricidad necesaria para el funcionamiento.

La gama de productos elegida es Nimbus Pocket M NET, figura 27, que es una bomba de calor aerotérmica Monobloc aire/agua para calefacción y refrigeración. La unidad externa elegida es la Nimbus Monobloc 40 M, funciona con un compresor “twin rotary” con el que se asegura un funcionamiento más silencioso y eficiente. Además, el compresor cuenta con modulación continua, lo que otorga un amplio rango de modulación de la potencia. Incorpora

un intercambiador de placas aire/agua de acero inoxidable con tratamiento anticorrosivo Blue Fin.

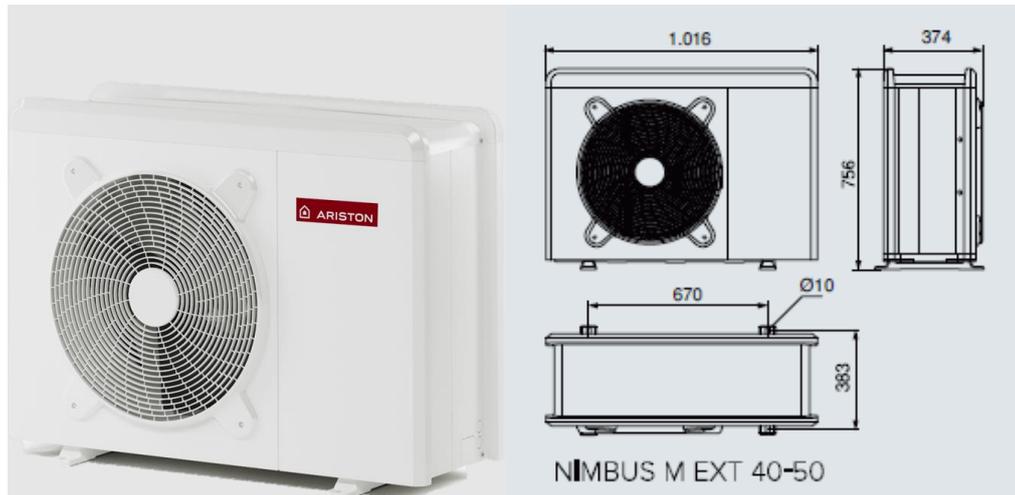


Fig. 27 | Unidad exterior Nimbus Monobloc 40 M. Fuente: *Ariston*

La figura 29 es el esquema que propone para la instalación aerotérmica Ariston, aunque en este caso, el suelo radiante (puntos 10 y 11 en el esquema) no aplica ya que las viviendas de la urbanización no lo tienen incorporado.

En la tabla 28 se recogen las principales características de la unidad exterior. Los datos para el funcionamiento de la bomba de calor en modo calefacción son los que corresponden para una temperatura exterior de 7°C y una temperatura del agua entre 30 y 35°C. En el modo refrigeración, los datos corresponden a una temperatura exterior de 35°C y una temperatura del agua entre 18 y 23°C.

Potencia térmica nominal calefacción [kW]	3,5
COP calefacción	5,1
Potencia térmica nominal refrigeración [kW]	4,8
EER	5,4
Peso [kg]	79
Tipo de refrigerante	R-410A

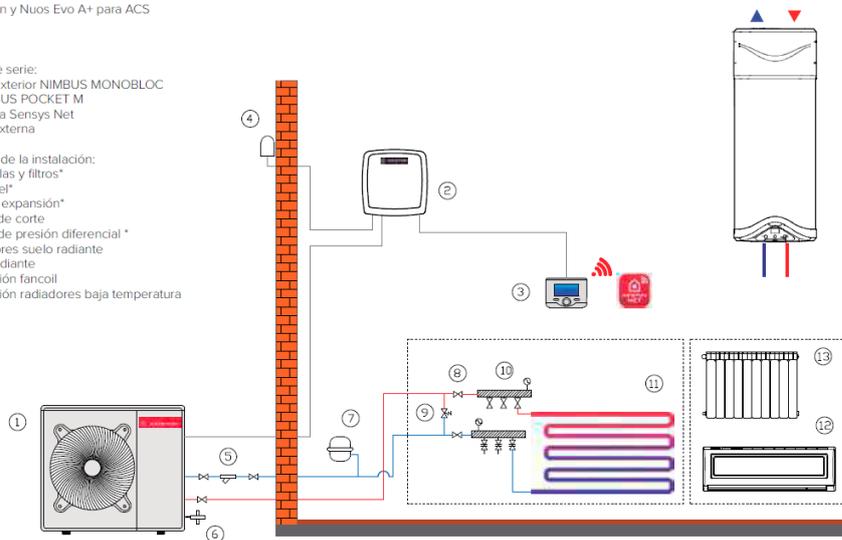
Fig. 28 | Datos técnicos Nimbus Monobloc 40 M. Fuente: *Ariston*

Esquema propuesto:
 NIMBUS POCKET M para calefacción/
 refrigeración y Nuos Evo A+ para ACS

LEYENDA

Incluidos de serie:
 1 - Unidad exterior NIMBUS MONOBLOC
 2 - Kit NIMBUS POCKET M
 3 - Centralita Sensys Net
 4 - Sonda externa

Accesorios de la instalación:
 5 - Kit válvulas y filtros*
 6 - Kit Exogel*
 7 - Vaso de expansión*
 8 - Válvula de corte
 9 - Válvula de presión diferencial*
 10 - Colectores suelo radiante
 11 - Suelo radiante
 12 - Instalación fancoil
 12 - Instalación radiadores baja temperatura



* Accesorios disponibles en catálogo Ariston — Agua calefacción / Refrigeración

Fig. 29 | Esquema de la instalación aerotérmica. Fuente: *Ariston*

En cuanto a la bomba de calor para el ACS, se ha escogido el modelo NUOS PLUS WIFI 200, figura 30, del mismo fabricante. Este modelo tiene una capacidad nominal de 200L,

con la que se satisface la demanda de ACS de cada vivienda, es capaz de conseguir una temperatura del agua hasta los 62°C funcionando únicamente como bomba de calor. Tiene una resistencia eléctrica cerámica de doble potencia que reduce e inhibe la formación de cal, además permite la conexión wifi a través de una aplicación propia del fabricante lo que facilita la interfaz con el usuario. Los datos técnicos del modelo escogido se incluyen en la tabla 26.



Fig. 30 | NUOS PLUS WIFI 200. Fuente: *Ariston*

Capacidad nominal [L]	200
SCOP aire a 14°C	3,79
Peso [kg]	90
Altura [mm]	1.737
Largo [mm]	550

Tabla 26 | Datos técnicos NUOS PLUS WIFI 200

Una vez se han elegido los equipos que satisfacen tanto la demanda térmica como la de ACS, es necesario calcular el consumo eléctrico de estos equipos. El consumo eléctrico de la bomba de calor cuando funciona en modo calefacción se calcula con el COP, mientras que

cuando funciona en modo refrigeración, se calcula a través del EER. La norma UNE-EN14511, define el coeficiente de rendimiento (COP) como el ratio entre la potencia calorífica y la potencia absorbida útil del equipo, y el Ratio de Eficiencia Energética (EER) como el ratio entre la potencia frigorífica total y la potencia absorbida por el equipo.

Por otro lado, la norma UNE-EN 14825 define el Coeficiente de Rendimiento Estacional (SCOP) como el coeficiente global de rendimiento de la unidad representativo para la totalidad de la estación de calefacción, y que se calcula como la demanda calorífica anual de referencia dividida por el consumo energético anual para calefacción.

Con estas consideraciones, se puede calcular el consumo eléctrico mensual, tabla 27, tanto de calefacción como de refrigeración, a partir de la demanda mensual, teniendo en cuenta que la bomba de calor tiene un COP de 5,1 y un EER de 5,4. Para el cálculo del consumo eléctrico de ACS, tabla 28, se utiliza el SCOP, el cual tiene un valor de 3,79 para el equipo seleccionado.

Mes	Demanda calefacción [kWh]	Demanda refrigeración [kWh]	Consumo eléctrico [kWh]
Enero	84,233	0	16,516
Febrero	71,820	0	14,082
Marzo	69,437	0	13,615
Abril	0	26,866	4,975
Mayo	0	64,282	11,904
Junio	0	119,569	22,142
Julio	0	215,871	39,976
Agosto	0	209,782	38,848
Septiembre	0	128,380	23,774
Octubre	21,071	0	4,132
Noviembre	50,756	0	9,952
Diciembre	77,347	0	15,166

Tabla 27 | Consumo eléctrico calefacción y refrigeración

Mes	Demanda ACS [kWht]	Consumo eléctrico [kWhe]
Enero	193,32	51,008
Febrero	174,61	46,072
Marzo	189,29	49,945
Abril	179,29	47,306
Mayo	177,21	46,757
Junio	163,70	43,192
Julio	161,10	42,507
Agosto	161,10	42,507
Septiembre	159,80	42,164
Octubre	173,18	45,695
Noviembre	179,29	47,306
Diciembre	193,32	51,008

Tabla 28 | Consumo eléctrico ACS

En la tabla 29, se recogen cada uno de los consumos eléctricos de la instalación aerotérmica de manera individual (calefacción, refrigeración y ACS), y el consumo total, por vivienda, resultado de la suma de todas las demandas que debe satisfacer.

Mes	Consumo ACS [kWh]	Consumo calefacción [kWh]	Consumo refrigeración [kWh]	Consumo eléctrico aerotermia [kWh]
Enero	51,008	16,516	0	67,524
Febrero	46,072	14,082	0	60,154
Marzo	49,945	13,615	0	63,561
Abril	47,306	0	4,975	52,281
Mayo	46,757	0	11,904	58,662
Junio	43,192	0	22,142	65,335
Julio	42,507	0	39,976	82,483
Agosto	42,507	0	38,848	81,355
Septiembre	42,164	0	23,774	65,938
Octubre	45,695	4,132	0	49,826
Noviembre	47,306	9,952	0	57,258
Diciembre	51,008	15,166	0	66,174

Tabla 29 | Consumo eléctrico total instalación aerotérmica por vivienda

El consumo eléctrico de la tabla anterior es individual de cada una de las viviendas, multiplicando por el número total de viviendas (60) que hay en la urbanización, se obtiene el consumo eléctrico por aerotermia de todo el complejo residencial -sumando este valor total con el consumo eléctrico propio de la urbanización (tabla 30)-.

Mes	Consumo eléctrico [kWh]
Enero	20.110,46
Febrero	19.609,78
Marzo	19.872,79
Abril	19.176,49
Mayo	23.763,85
Junio	24.095,42
Julio	25.281,70
Agosto	25.214,05
Septiembre	24.131,62
Octubre	19.048,75
Noviembre	19.475,11
Diciembre	20.029,62

Tabla 30 | Consumo eléctrico total de la urbanización

7. HUELLA DE CARBONO

En los últimos años, la preocupación por el cambio climático y la necesidad de abordar los problemas ambientales han llevado a un mayor enfoque en la medición y reducción de la huella de carbono. La huella de carbono es una medida que se utiliza para evaluar el impacto de las actividades humanas en la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO₂), y su contribución al calentamiento global [32].

La huella de carbono abarca todas las emisiones directas e indirectas de CO₂ asociadas con la producción y consumo de bienes y servicios, así como con el uso de recursos naturales. Las actividades humanas que generan emisiones de CO₂ incluyen la quema de combustibles fósiles (como el carbón, el petróleo y el gas natural) para la generación de energía, el transporte, la producción industrial y la agricultura entre otros.

Medir la huella de carbono implica cuantificar la cantidad de CO₂ emitido durante el ciclo de vida completo de un producto, servicio o actividad. Esto implica considerar todas las etapas, desde la extracción de materias primas, la producción, el transporte, el uso y hasta la disposición final. El resultado se expresa en toneladas métricas de CO₂ equivalente (tCO₂e), que es una medida estandarizada que tiene en cuenta otros gases de efecto invernadero además del CO₂, como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), y los convierte a su equivalente en CO₂ [33].

El cálculo de la huella de carbono es una herramienta fundamental para comprender y evaluar el impacto ambiental de nuestras actividades. Permite identificar las principales fuentes de emisiones de CO₂, a partir de ahí, desarrollar estrategias y políticas para reducir y mitigar dichas emisiones. Además, la medición de la huella de carbono puede ayudar a las empresas, organizaciones y gobiernos a establecer metas de reducción, mejorar la eficiencia energética, promover la adopción de tecnologías limpias y fomentar prácticas más sostenibles.

Para la urbanización, se ha observado una factura de electricidad en la que la comercializadora incluye el origen de la electricidad que suministra (figura 31).

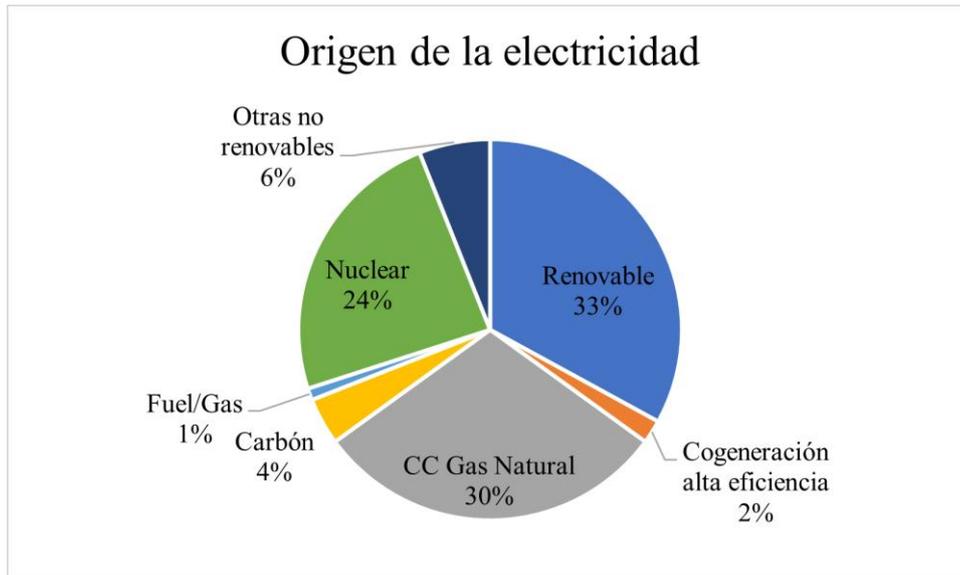


Fig. 31 | Origen de la electricidad de la comercializadora

De estas fuentes de energía, la nuclear y las renovables suman un 57%, y no tienen emisiones de CO₂. Para el resto, existe un documento de marzo de 2021 de Red Eléctrica de España (REE) en el que se incluye el cálculo de las emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad en España [36].

El procedimiento de cálculo utilizado en este documento consiste en obtener la relación entre el consumo de combustible de las centrales de producción eléctrica y el consumo de energía eléctrica en el punto de consumo, teniendo en cuenta los procesos entre el consumo eléctrico final hasta el consumo de combustible, en función del tipo de central de producción eléctrica y su rendimiento, y considerando las pérdidas en generación y distribución.

Así, se pueden conocer las emisiones de CO₂ y energía primaria consumida en la central de generación, por unidad de energía puesta en punto de consumo. En la tabla 31, se recogen los factores de conversión de energía final en

tCO₂-eq/MWh, es decir, las tCO₂ emitido por MWhe consumido en punto de consumo de BT.

Combustible	tCO₂-eq/MWh
Carbón	0,95
Fuel oil – Gas oil	0,77
Gas Natural	0,37
Cogeneración	0,38
Otras fuentes no renovables	0,62

Tabla 31 | Emisiones de carbono por MWhe consumido. Fuente: *REE*

El porcentaje que aparece en la factura correspondiente a ‘otras fuentes no renovables’, se asume que su huella de carbono es la media de las emisiones por MWh de la tabla 31. El consumo total anual de la urbanización (sumando los consumos mensuales) es de 259,81 MWhe, multiplicando por los porcentajes de la figura 31, y por los factores de la tabla 31, se obtiene la huella de carbono anual del edificio residencial antes de la instalación fotovoltaica. De esta forma, las emisiones de CO₂ equivalentes que emite la urbanización por su consumo de electricidad es de 262,90 tCO₂ anuales.

8. METODOLOGÍA

Para el diseño de la instalación fotovoltaica se ha utilizado el programa PVsyst. Es la herramienta más utilizada a nivel mundial para el dimensionado de instalaciones de estas características y cuenta con una gran base de datos sobre los componentes principales que las componen.

El primer paso es definir las coordenadas del emplazamiento para tener información relevante a la hora del dimensionado como la irradiancia horizontal global, la temperatura o la irradiación difusa horizontal. El programa permite elegir entre diversas fuentes de datos climatológicos: Meteornom 8.1, NASA – SSE, PVGIS TMY, Solcast TMY, o SolarAnywhere TGY. En este caso, se ha elegido la base de datos de Meteornorm, ya que es la que se ha utilizado para las condiciones climáticas anteriormente y es la que proporciona el CTE. Las condiciones climáticas que se obtienen con el programa son las de la figura 32.

Sitio **El Rompido (España)**

Fuente de datos **Meteornorm 8.1 (1996-2015), Sat=25%**

	Irradiación horizontal global W/m ²	Irradiación difusa horizontal W/m ²	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Humedad relativa %
Enero	105.6	39.2	10.6	2.80	83.9
Febrero	150.1	53.7	11.6	3.10	79.2
Marzo	202.4	70.8	14.5	3.50	72.4
Abril	246.8	99.2	16.7	3.50	69.9
Mayo	295.0	95.6	20.3	3.30	61.0
Junio	325.1	94.0	23.3	3.20	59.3
Julio	328.0	79.3	25.4	3.10	55.9
Agosto	291.3	80.4	25.7	2.79	57.8
Septiembre	226.2	74.4	22.6	2.70	68.0
Octubre	166.1	58.9	19.6	2.70	74.2
Noviembre	119.4	40.6	14.3	2.80	78.5
Diciembre	93.8	40.7	11.8	3.01	83.9
Año	212.8	68.9	18.0	3.0	70.3

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 2.4%

Fig. 32 | Condiciones climáticas de El Rompido generadas por PVsyst

8.1 ELECCIÓN DE LA ORIENTACIÓN

La orientación de los paneles viene determinada por dos ángulos, la inclinación β (ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal) y el acimut α (mide la desviación respecto al norte, en el hemisferio sur, y respecto al sur, en el hemisferio norte).

Normalmente, es conveniente que el módulo esté girado hacia el ecuador, hacia el sur si se están en el hemisferio norte, y hacia el norte si se trata del hemisferio sur. Así se consigue que los paneles capturen la mayor cantidad de radiación posible durante el día ($\alpha=0^\circ$).

Respecto a la inclinación, se suele elegir un ángulo β con el que maximizar el ajuste entre la captación de irradiación y la demanda de energía. Se definen los siguientes criterios orientativos:

- En instalaciones en las que los consumos son parecidos a lo largo del año, conviene optimizar la instalación para que capte la máxima radiación en los meses de invierno, siendo la inclinación igual al valor absoluto de la latitud más 10° ($\beta = |\varphi| + 10^\circ$).
- Si los consumos son inferiores en invierno, se utiliza como inclinación el valor de la latitud, optimizando para los meses de primavera y otoño ($\beta = |\varphi|$).
- Para instalaciones con mayores en consumo, se recomienda utilizar un ángulo igual a la latitud en valor absoluto menos 10° ($\beta = |\varphi| - 10^\circ$).
- La inclinación óptima se puede calcular con la siguiente fórmula: $\beta = 3,7 + 0,69\varphi$

Los tejados de los bloques de la urbanización son planos, por lo que la inclinación de los paneles no se ve influenciado por este motivo. Los paneles que se van a instalar serán fijos y en plano inclinado, PVsyst permite elegir entre varias opciones: paneles con varias orientaciones, que tengan rastreo en el eje horizontal N-S o E-O, o en ambos ejes. Esta elección se debe a que es la opción más económica ya que los seguidores conllevan un mantenimiento que aumenta el coste de la instalación.

Una vez seleccionada la orientación inclinada fija, el programa muestra un panel en el que se muestra el factor de transposición (ratio entre la irradiación incidente en el plano y la irradiación horizontal), la diferencia (pérdidas) respecto a la orientación óptima, y la irradiación disponible para el plano inclinado seleccionado. Se permite elegir sobre qué época del año optimizar la inclinación, ya sea si se quiere maximizar el rendimiento durante todo el año, durante los meses de invierno, o durante los meses de verano. En la figura 33, se muestra el panel si se quiere optimizar para todo el año, y en la figura 34, si se quiere optimizar para los meses de verano.

Como la urbanización es en una localidad costera, en la que la mayor parte de los propietarios acuden durante los meses de verano, el consumo anual se concentra en estos meses del año. Sin embargo, no se puede dimensionar la instalación teniendo en cuenta solo el verano, ya que, durante los meses de invierno, también está habitada. Por esta razón, se decide encontrar una solución de compromiso, entre las dos opciones comentadas. El programa, en el caso de optimizar el rendimiento durante todo el año, define una inclinación de 35°, mientras que, para optimizar los meses de verano, el ángulo de inclinación óptimo es de 19°. Teniendo esto en cuenta, se decide elegir un ángulo β de 30°, permitiendo así que no se penalice tanto el rendimiento de los paneles durante los meses de invierno, además, esta inclinación suele ser la más utilizada a la hora de instalar paneles fotovoltaicos en edificios residenciales.

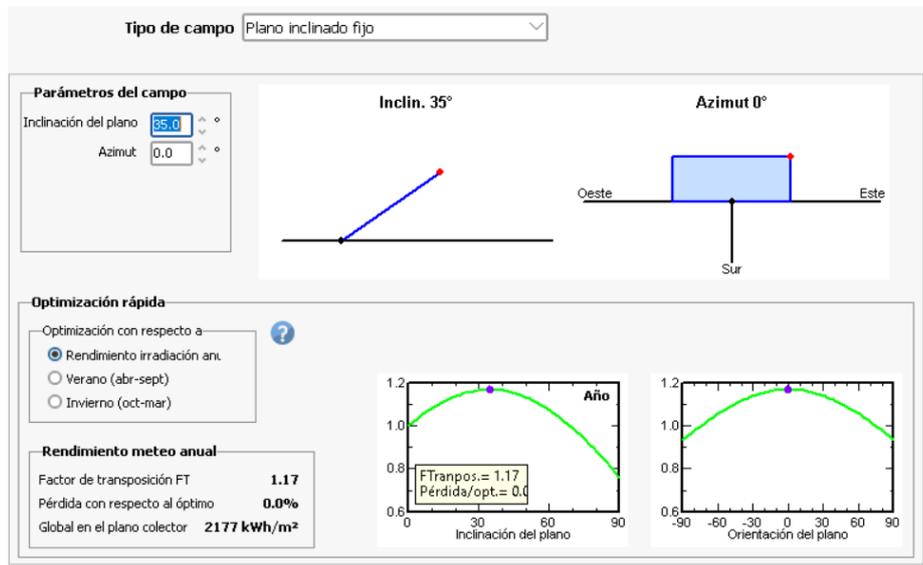


Fig. 33 | Inclinación para optimización anual

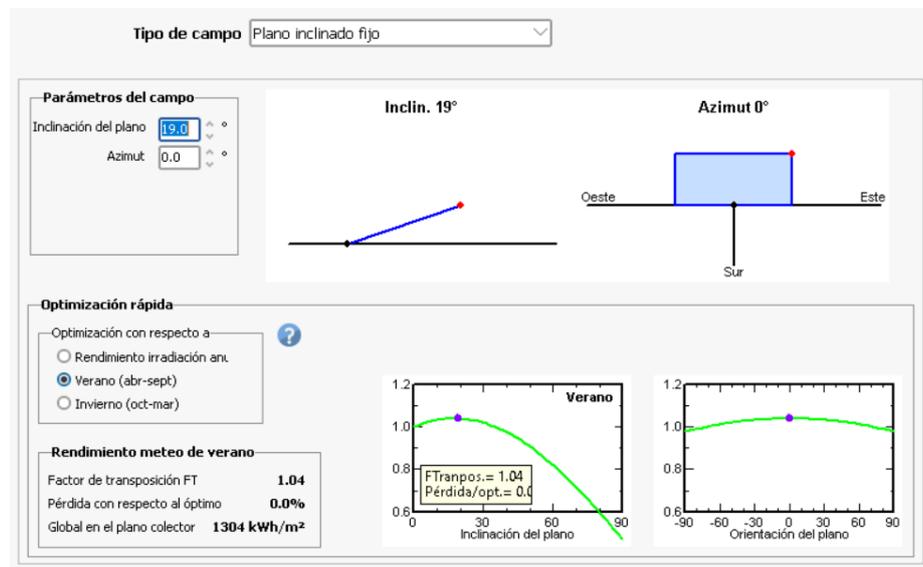
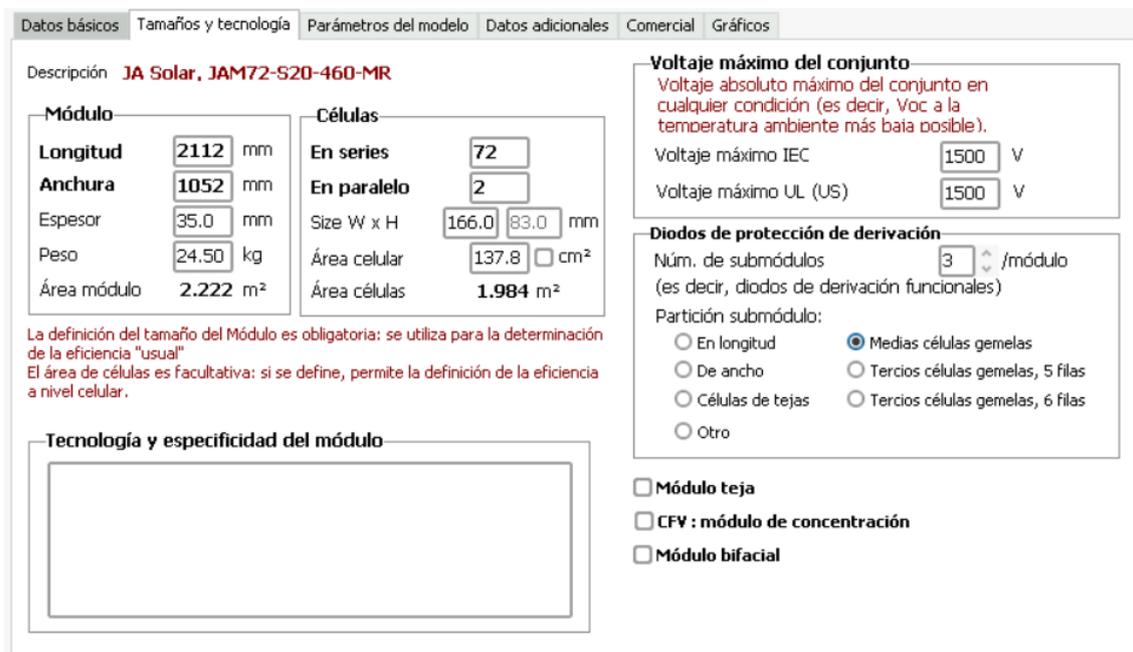


Fig. 34 | Inclinación para optimización de los meses de verano

8.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Una vez elegida la orientación del sistema, hay que definir los elementos que lo componen, es decir, elegir el módulo fotovoltaico y el inversor. También es importante determinar cómo va a ser la composición del sistema teniendo en cuenta el área disponible para la instalación.

El módulo fotovoltaico elegido va a ser de 460 Wp, ya que es lo más utilizado para la instalación en viviendas. El fabricante elegido es JA Solar ya que es una de las empresas Tier1 que hay actualmente en el mercado, y cuenta con una experiencia de casi 20 años. El modelo elegido es el *JAM72-S20-460-MR*, es un panel monofacial y cuenta con tecnología half-cut. Que cuentan con esta tecnología, se sabe porque en la pestaña tamaño y tecnología del módulo FV, aparece marcada la opción de medias células gemelas (figura 35).



Datos básicos | Tamaños y tecnología | Parámetros del modelo | Datos adicionales | Comercial | Gráficos

Descripción **JA Solar, JAM72-S20-460-MR**

Módulo		Células	
Longitud	2112 mm	En series	72
Anchura	1052 mm	En paralelo	2
Espesor	35.0 mm	Size W x H	166.0 83.0 mm
Peso	24.50 kg	Área celular	137.8 cm ²
Área módulo	2.222 m ²	Área células	1.984 m ²

La definición del tamaño del Módulo es obligatoria: se utiliza para la determinación de la eficiencia "usual"
 El área de células es facultativa: si se define, permite la definición de la eficiencia a nivel celular.

Tecnología y especificidad del módulo

Voltaje máximo del conjunto
 Voltaje absoluto máximo del conjunto en cualquier condición (es decir, Voc a la temperatura ambiente más baja posible).
 Voltaje máximo IEC: 1500 V
 Voltaje máximo UL (US): 1500 V

Diodos de protección de derivación
 Núm. de submódulos: 3 /módulo
 (es decir, diodos de derivación funcionales)
 Partición submódulo:
 En longitud
 Medias células gemelas
 De ancho
 Tercios células gemelas, 5 filas
 Células de tejas
 Tercios células gemelas, 6 filas
 Otro

Módulo teja
 CFV: módulo de concentración
 Módulo bifacial

Fig. 35 | Características del módulo FV seleccionado

La tecnología de célula half-cut consiste en un láser que es usado para cortar las células de tamaño estándar en dos células cortadas al mismo tamaño por la mitad y en una dirección perpendicular al bus-bar de la célula. De esta manera se reduce la pérdida de potencia y se

mejora la eficiencia consiguiendo un incremento de la potencia entre 5 y 10W [37]. Esto reduce la resistencia interna de las placas (menores pérdidas de corriente al ser transportada por las pistas conductoras) y asegura una producción continua cuando la placa está parcialmente sombreada ya que los sombreados parciales de una mitad del panel solar no afectarán al total del panel [38].

Respecto a los inversores, se van a elegir de la marca Huawei Technologies, y se van a colocar cuatro inversores, uno por bloque. Como el inversor es el encargado de buscar la máxima potencia, debe ser capaz de satisfacer la máxima demanda de electricidad, por tanto, se escogen cuatro inversores *SUN2000-25KTL-M5-400V*, cada uno de ellos con una potencia de 25 kW. Como la instalación va a estar conectada a la red, el lado de salida del inversor debe ser trifásico.

Una vez definidos los modelos de los módulos FV y de los inversores, hay que hacer un proceso de iteración para: encontrar la composición de los módulos óptima, cuántos módulos hay que poner en serie, cuántas cadenas y, ver si el área que ocupan es posible para el área disponible. De tal forma que, para cada bloque, se definen 16 módulos en serie, y cuatro cadenas, haciendo un total de 64 módulos, que ocupan un área de 142 m², se define un paso entre cadena de 1,5 metros. El área total disponible era de 360 m², sin embargo, esta área se suele dividir entre 2,5 para tener en cuenta las sombras en el dimensionado de la instalación. Por tanto, el área disponible es de 144 m², con la composición elegida, hay espacio suficiente para la instalación, y se deja hueco por si hay necesidad de mantenimiento o arreglar alguna parte del sistema. El programa ofrece la posibilidad de ver una vista 3D de la instalación (figura 36), en función del tipo y del tamaño de los módulos, se definen las cadenas y el número de módulos en serie.

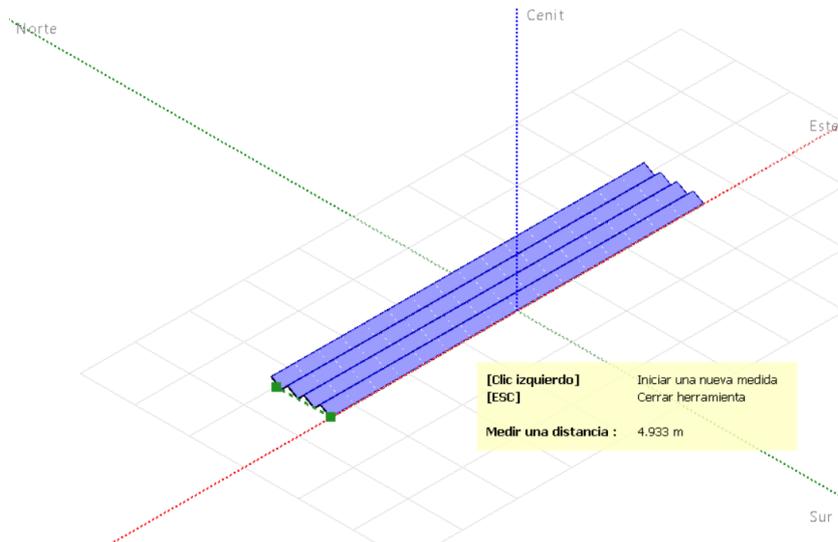


Fig. 36 | Vista 3D de la instalación fotovoltaica por bloque

Se introducen los consumos mensuales de la urbanización, se han dividido los totales que se presentaron en la tabla 30, en el apartado 6, entre cuatro, ya que se va a diseñar una única vez el sistema fotovoltaico que se va a colocar en cada uno de los bloques, y se va a replicar para el resto.

El programa ofrece varias formas de introducir los consumos que va a abastecer la instalación fotovoltaica (figura 37). Como en el apartado correspondiente se han calculado los consumos mensuales de la instalación, se hace una primera simulación introduciendo la demanda en cada uno de los meses del año.

Características generales
Valores mensuales
Perfil diario

Tipo de perfil de carga

Sin autoconsumo

Consumo constante fijo

Valores mensuales

Perfiles diarios

Perfiles de probabilidad

Consumidores domésticos

Cargar valores de un archivo CSV por hora/diario

Perfiles diarios

Constante durante el año

Modulación estacional

Normalización mensual

Modulación semanal

Necesidades del usuario: energía anual definida

Potencia promedio	7.41 kW
Energía anual	65.0 MWh/año

Info sistema: Generador FV definido

Potencia FV nominal	29.4 kWp
Rendimiento estimado del sistema	50.9 MWh/año
P _{nomFV} / P _{Carga promedio}	3.97 Proporción P _{nom}
P _{nomFV} / P _{Carga máx.}	2.40 Proporción P _{nom}

Permite la inyección solar en la red

Se ha definido un autoconsumo con un promedio de 177.9 kWh/día

Fig. 37 | Opciones para definir los perfiles de consumo de PVsyst

El problema de haber introducido los consumos mensuales de esta forma en PVsyst, es que el programa supone que estos consumos se distribuyen de manera lineal durante todas las horas del día, algo que no es realista. Por ello, cuando se comparan la energía inyectada a la red, la energía consumida a la red, y la energía suministrada al usuario de la instalación fotovoltaica, los valores obtenidos no son los que se van a obtener una vez realizada la instalación. En la figura 38, se presenta el diagrama de pérdidas de la instalación de uno de los bloques en un año.

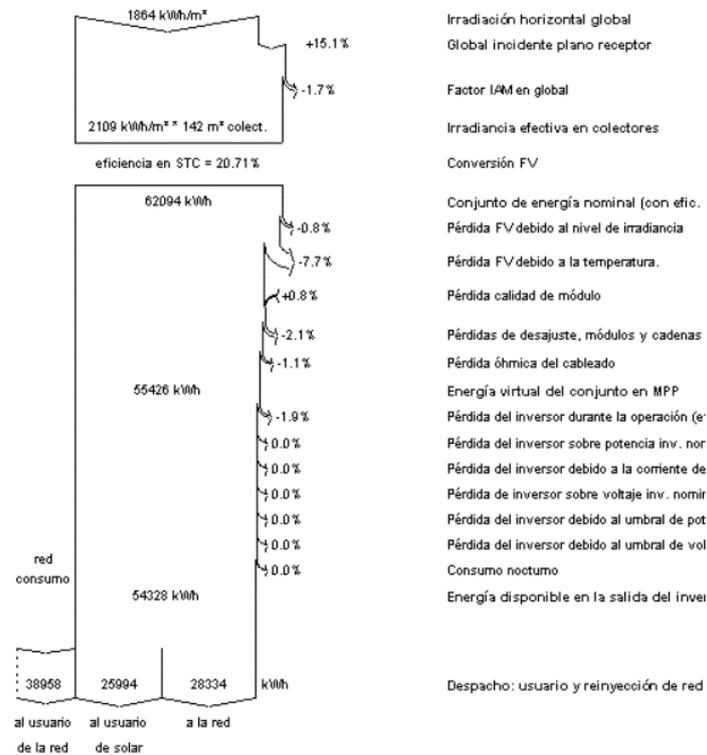


Fig. 38 | Diagrama de pérdidas sin optimizar por bloque

En la figura 39, se puede observar lo comentado anteriormente, PVsyst distribuye de manera lineal los consumos eléctricos a lo largo del día (línea morada), lo que hace que, en la simulación, los valores de la energía de la red (línea verde) sean muy altos durante las horas nocturnas ya que no hay producción fotovoltaica, y durante las horas de sol, cuando hay más consumos, la energía inyectada en la red sea muy alta (línea roja).

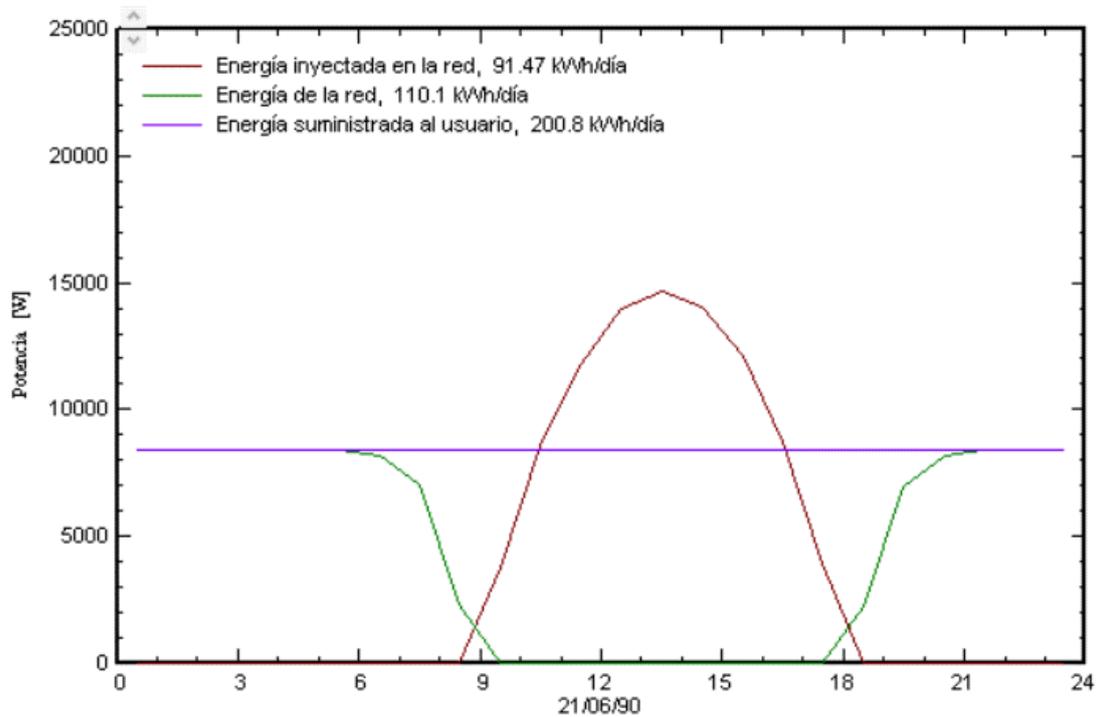


Fig. 39 | Comparación entre energía inyectada en la red, energía de red y energía suministrada al usuario

Como la forma en la que PVsyst interpreta los consumos mensuales no es realista, se ha decidido optar por introducir el perfil de la demanda horaria de cada mes, teniendo en cuenta los consumos calculados en el punto 6. Así, se consigue una simulación más realista sobre el comportamiento del sistema. De tal forma, se tiene el diagrama de pérdidas de la figura 40. Con esta nueva simulación, se ha conseguido que la energía que se vierte a la red y la que se necesita de esta, disminuya de forma considerable. Consecuentemente, la energía solar que se aprovecha en la urbanización incrementa de manera notable. Gracias a introducir los consumos de esta manera, el programa es capaz de ajustar estos valores de una forma óptima.

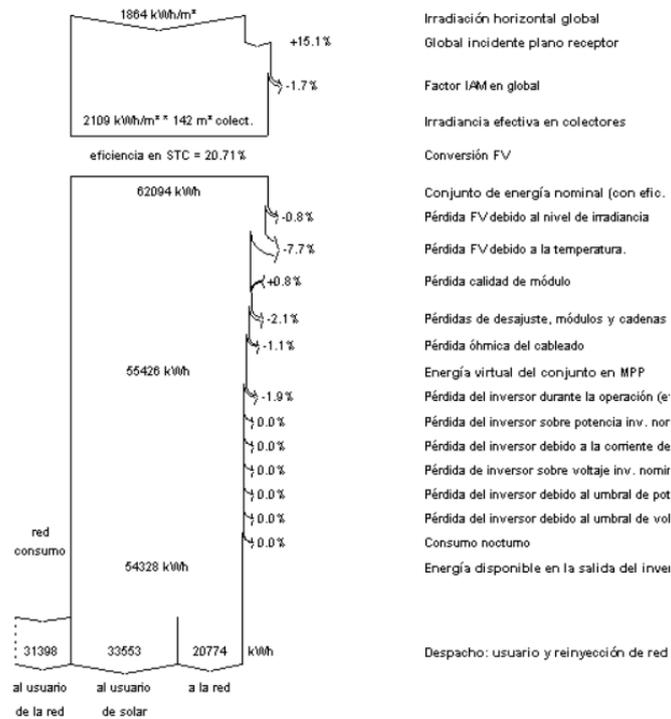


Fig. 40 | Diagrama de pérdidas por bloque

Si se vuelve a simular el comportamiento del sistema en días representativos, como pueden ser los días 21 de los meses de junio y de diciembre (figura 41 y 42), se observa como la energía suministrada al usuario (línea morada), se adapta mejor a la realidad, ya que representa el perfil de la demanda diaria del mes en cuestión. Es conveniente resaltar que el hecho de que en la fecha aparezca el año 1990 es irrelevante, simplemente es cuestión de formato del programa, lo que influye son el día y el mes.

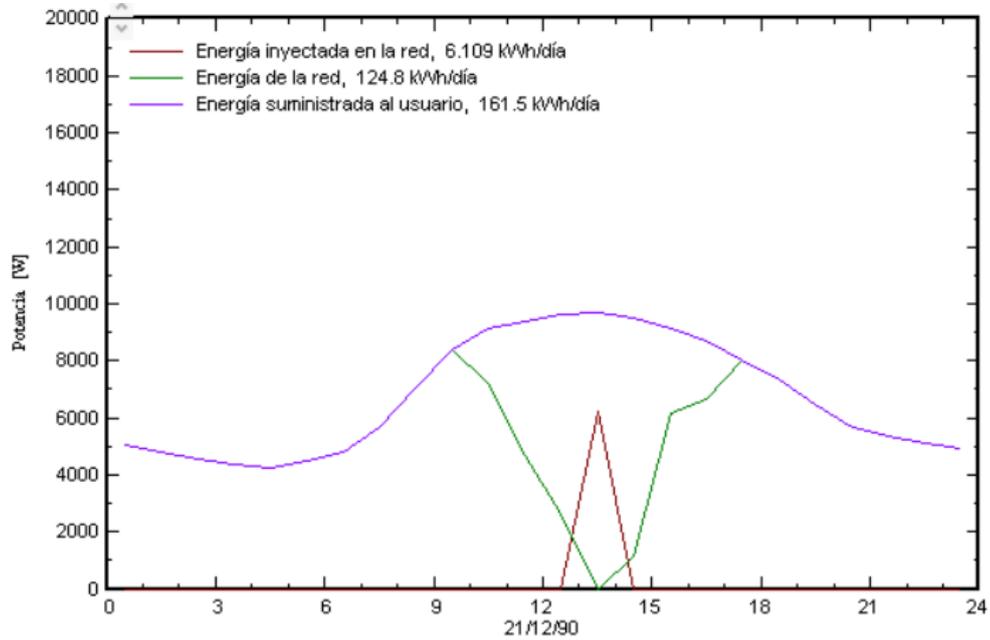


Fig. 41 | Comportamiento del sistema para el 21/12

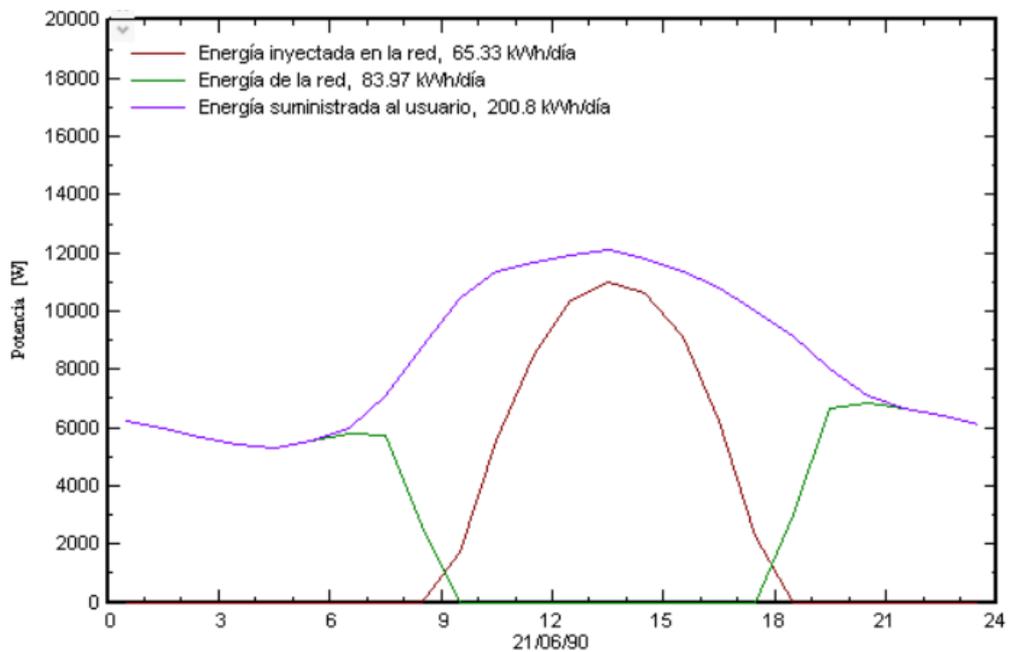


Fig. 42 | Comportamiento del sistema para el 21/06

En la figura 43, se representan las necesidades de la urbanización y la energía que es capaz de producir la instalación fotovoltaica. Durante los meses de invierno, la diferencia es mayor debido a que hay menos horas de sol. Sin embargo, en los meses de primavera y verano, la demanda eléctrica es satisfecha prácticamente en su totalidad gracias a la electricidad producida en los módulos fotovoltaicos.

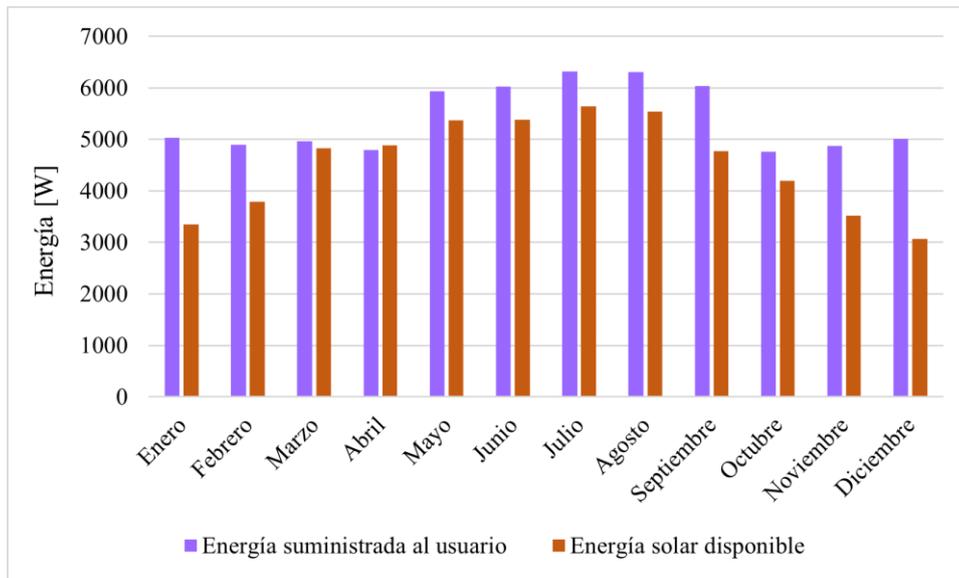


Fig. 43 | Demanda y producción anual del sistema

8.3 SOMBRAS

En cuanto a las sombras, el programa permite hacer simulaciones para la instalación elegida en cada momento del día del año. Se han comprobado las sombras en días representativos del año, 21 de junio (figura 44) y 21 de diciembre (figura 45), a las 14:00. Además, se ha simulado cómo se comportaría la instalación los mismos días a las 18:00 (figura 46 y 47), para ver el comportamiento en horas más altas de la tarde. En los meses de verano, la orientación de la instalación es óptima ya que la instalación no tiene sombras. Sin embargo, en los meses de invierno, la instalación sí se ve penalizada por la presencia de sombras. Estas sombras, se deben a que el sol tiene una inclinación menor, y, por tanto, se proyectan sombras entre las propias cadenas de módulos fotovoltaicos. No existen elementos externos de la urbanización, como pueden ser árboles u otros elementos constructivos que supongan sombras en los módulos.

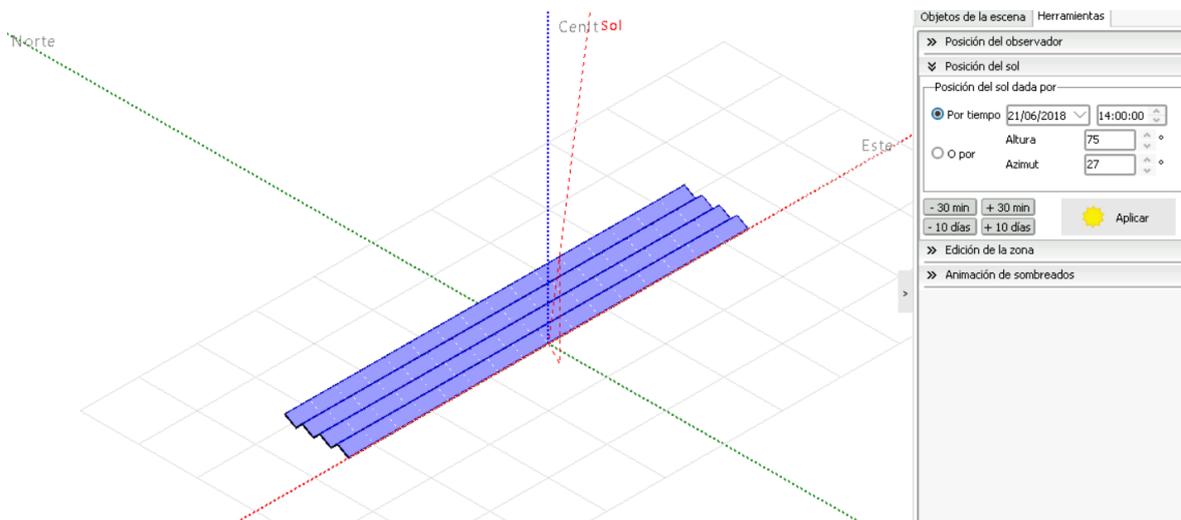


Fig. 44 | Sombras de la instalación el 21/06 a las 14:00

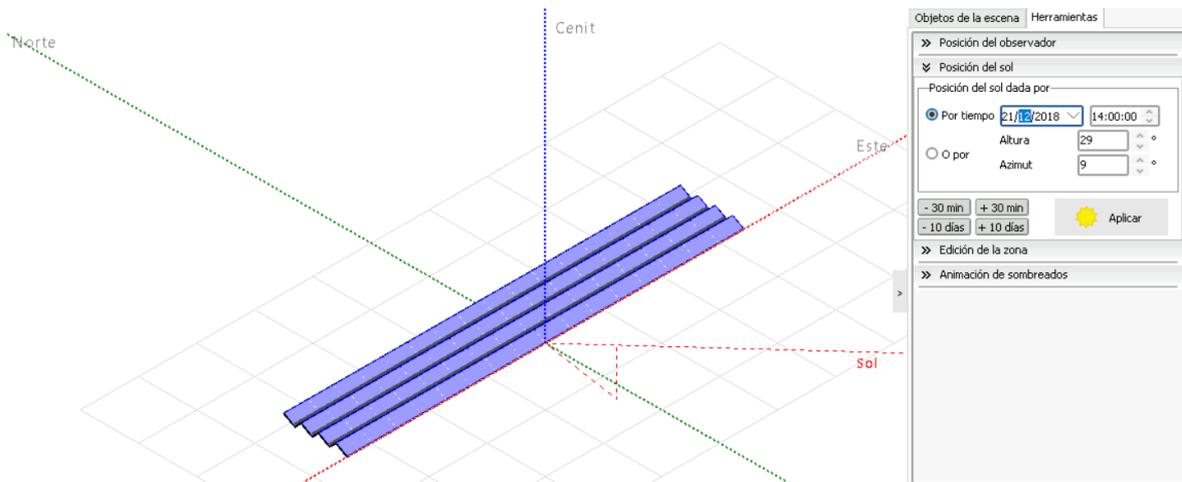


Fig. 45 | Sombras de la instalación el 21/12 a las 14:00

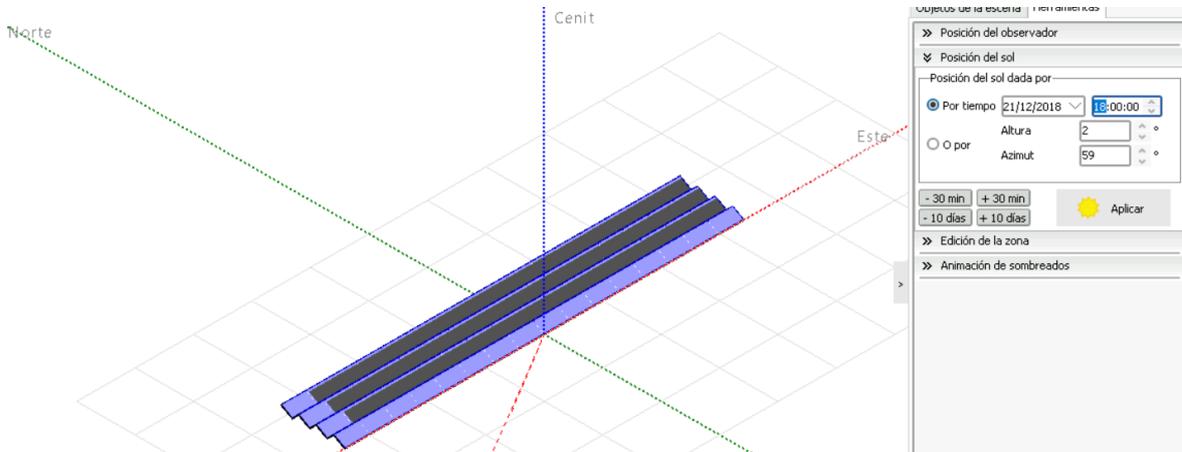


Fig. 46 | Sombras de la instalación el 21/12 a las 18:00

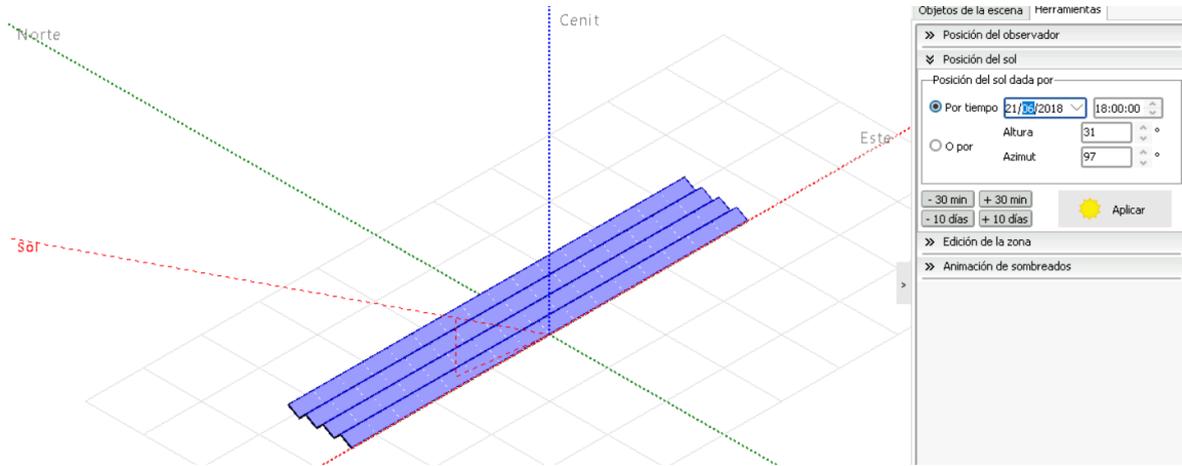


Fig. 47 | Sombras de la instalación el 21/06 a las 18:00

9. ANÁLISIS ECONÓMICO

9.1 INVERSIÓN INICIAL

Para realizar un análisis económico de la instalación es necesario calcular primero cuál es la inversión inicial que hay que realizar, esta consta de los costes que suponen los equipos de aerotermia, los módulos fotovoltaicos, los inversores, otros elementos de la instalación fotovoltaica, además de la mano de obra para la instalación. En la tabla 32, se recogen los precios de los equipos elegidos para la instalación fotovoltaica y para la aerotermia.

Equipo	Precio unitario	Número de equipos	Precio total
Nimbus Monobloc 40M	2.700€	60	162.000€
NUOS Plus wifi 200	2.200€	60	132.000€
Módulo FV	218€	256	55.808€
Inversor	2.600€	4	10.400€
Cableado	200€	4	800€
Estructura	100€	256	25.600€
TOTAL			386.608€

Tabla 32 | Precio de los equipos de aerotermia e instalación FV

Además, se supone que el precio de la mano de obra de la instalación es de 3.392€, lo que hace una inversión inicial de 390.000€.

9.2 COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costes de mantenimiento respecto a la instalación fotovoltaica son los correspondientes a la limpieza de los paneles solares. Se supone que se van a limpiar cada uno de ellos anualmente, ya que es una zona con poca lluvia y costera, lo que puede conllevar un mayor ensuciamiento. Se estima que el precio de limpieza es de 5€ por panel, ya que la ubicación de los paneles es de fácil acceso y no es necesario el uso de grúas u otros equipos que incrementen el precio. Esto hace un total de 320€ por bloque y 1.280 € para la urbanización completa.

Para la aerotermia, se supone una revisión cada 5 años para controlar ruidos, el correcto funcionamiento del aire acondicionado y la calefacción, o casos de reducción de la potencia. Como los equipos de aerotermia son individuales para cada una de las viviendas, los propietarios son los que se van a hacer cargo del importe del mantenimiento, el cual se estima de 100€ por vivienda, lo que hace un total de 6.000€ para toda la urbanización cada 5 años. Este coste no se va a tener en cuenta en el análisis financiero, pero sí el coste de inversión de los equipos, ya que estos se van a financiar por la comunidad.

9.3 AHORRO POR AEROTERMIA

Antes de la instalación de la aerotermia, la urbanización utiliza gas natural para la calefacción y para el ACS. Existen dos posibilidades a la hora de contratar una tarifa de gas. La primera es la Tarifa de Último Recurso de gas (TUR), esta es la tarifa regulada del gas natural y se puede contratar en el mercado regulado a través de comercializadoras de referencia. El precio de la tarifa se establece en el mercado mayorista en función de la oferta y la demanda [39].

Por otro lado, se encuentra el mercado libre de gas natural en el que se paga una tarifa fija de gas natural y siempre se paga cada kW al mismo precio. A las viviendas de la urbanización les corresponde una tarifa RL.2, ya que el consumo está entre 5.000 y 15.000 kWh anuales, y están destinadas para usos domésticos que incluyen cocina, agua caliente y calefacción. Si se contrata esta tarifa de gas con Iberdrola, el término fijo sería de 11,74€/mes y el variable

de 0,1 €/kWh [40], ambos valores tienen incluidos los impuestos. Como es una urbanización de veraneo, en la que los meses de invierno hay muy poca ocupación, se va a suponer que todas las viviendas tienen contratada una tarifa RL.2 variable. Sumando los consumos correspondientes a ACS y a calefacción, calculados en el punto 6, y los precios de la tarifa seleccionada, con la instalación de aerotermia, se consigue un ahorro de 388,89 € por vivienda (tabla 33). Si este valor se multiplica por las 60 viviendas que conforman la urbanización, contar con aerotermia implicaría un ahorro total de 23.332,12 €/año para la comunidad energética.

Mes	Consumo ACS [kWh]	Consumo calefacción [kWh]	Coste [€]
Enero	51,008	16,516	39,50
Febrero	46,072	14,082	36,38
Marzo	49,945	13,615	37,61
Abril	47,306	0	29,67
Mayo	46,757	0	29,46
Junio	43,192	0	28,11
Julio	42,507	0	27,85
Agosto	42,507	0	27,85
Septiembre	42,164	0	27,72
Octubre	45,695	4,132	31,17
Noviembre	47,306	9,952	34,74
Diciembre	51,008	15,166	38,81
TOTAL	374,663	2105,224	388,89

Tabla 33 | Coste anual por vivienda en gas natural

9.4 AHORRO POR LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Para calcular el coste en electricidad que tiene que hacer frente la urbanización antes de la instalación de los equipos de aerotermia y de la instalación fotovoltaica. Los gastos de electricidad son, por un lado, debido a la potencia contratada, que tiene un precio fijo en función de la potencia contratada en hora valle o en hora punta, y de la energía consumida, que tiene un precio en función de la hora en la que se produzca el consumo.

Se va a asumir que la discriminación horaria es solamente en dos tramos, punta (12h – 22h) y valle (22h – 12h). La tarifa contratada tiene un precio por potencia de 33,92 €/kW año en periodo punta y de 6,19 €/kW año en periodo valle, ambos valores con impuestos incluidos. Para la energía consumida, tiene un precio de 0,146 €/kWh.

Para calcular el consumo eléctrico debido al aire acondicionado antes de instalar la aerotermia, se deben convertir la demanda de refrigeración en kWh_t a kWh_e para ver cuál es el consumo eléctrico, ya que el calculado previamente era el consumo eléctrico con aerotermia. Para este cálculo se supone que los equipos actuales tienen un COP de 3,5.

Mes	Consumo eléctrico [kWh]	Coste [€]
Enero	17.502,99	2.555,44
Febrero	17.231,72	2.515,83
Marzo	17.249,50	2.518,43
Abril	16.500,19	2.409,03
Mayo	21.346,13	3.116,54
Junio	22.225,09	3.244,86
Julio	24.033,37	3.508,87
Agosto	23.928,99	3.493,63
Septiembre	22.376,13	3.266,92
Octubre	16.420,38	2.397,38
Noviembre	16.909,72	2.468,82
Diciembre	17.385,11	2.538,23
TOTAL	233.109,33	34.033,96

Tabla 34 | Coste anual de energía consumida por la urbanización

La potencia instalada en la urbanización es de 450 kW en el periodo de punta, ya que, en los meses de verano, los consumos aumentan debida al incremento en la ocupación y al mayor uso que se les da a las zonas comunes. En las horas valle, la potencia instalada es de 350 kW. El coste por la potencia instalada es de 17.430,50 €/año. Sumando el coste por consumo y por potencia instalada, se tiene un precio anual de luz de 51.464,46 €.

9.5 MÉTRICAS FINANCIERAS

Una vez se han determinado los costes y ahorros que va a tener la instalación durante la vida útil, la cual se supone de 25 años. A la hora de estudiar la viabilidad económica de un proyecto, es importante tener en cuenta la inflación, ya que tiene un impacto en los costes y en los flujos de caja futuros. Considerar la inflación asegura que estos flujos de caja se ajusten adecuadamente a los cambios en el valor del dinero a lo largo del tiempo, lo que

permite una evaluación más precisa de la rentabilidad y ayuda a la toma de decisiones. Por ello, se estima una inflación del 2,5% para el gas y del 2% anual para la electricidad, debido a lo acontecido estos últimos años donde se ha penalizado la dependencia energética de gran parte de los países. Para la economía en general, se asume una inflación del 3,5%, basado en la evolución del IPC en los últimos años según el INE.

Otro parámetro importante es la tasa de descuento, gracias a este parámetro, se puede determinar cuál es el valor presente de un pago que se recibirá en un futuro. En este caso, se utiliza una tasa de descuento del 10%.

Como se ha mencionado en el apartado correspondiente, las instalaciones fotovoltaicas cuentan con subvenciones por parte de las instituciones. En el caso de este proyecto, al ser una comunidad energética, existen varias subvenciones a las que se puede optar, por parte del IDAE, o de los fondos Next Generation. Como no es posible determinar si el proyecto sería aceptado para recibir las ayudas pertinentes, se van a estudiar los parámetros financieros en distintos casos en función del porcentaje de la inversión inicial que es subvencionada. Se va a calcular para una subvención del 70%, del 30% y del 0%.

9.5.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es una medida financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se calcula como la diferencia entre los flujos de caja futuros generados por el proyecto y la inversión inicial del proyecto, todo ello ajustado al valor presente. Al calcular el VAN, se estiman los flujos de caja esperados a lo largo de la vida del proyecto y se descuentan utilizando una tasa de descuento apropiada. Si el VAN es positivo, significa que el proyecto es rentable. Por el contrario, si el VAN es negativo, indica que el proyecto no es rentable. El VAN se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

- F_t es el flujo de caja en el año t
- K es la tasa de descuento
- I_0 es la inversión inicial

En función de los distintos niveles de subvención que se consigan para el proyecto, se tendrá un VAN para cada uno de los casos (figura 48). Mientras mayor sea la cantidad subvencionada, mayor será el valor actual del proyecto, ya que la inversión inicial se recupera antes.

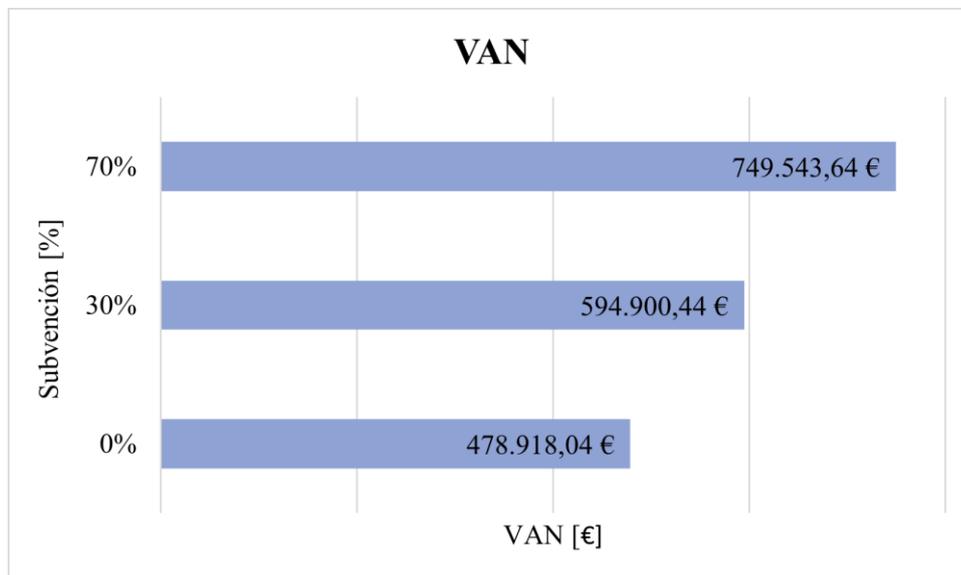


Fig. 48 | VAN según la subvención

9.5.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión para comprobar la viabilidad de una inversión, ya que cuanto mayor sea la TIR mejor será la inversión. También se define como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero, para un proyecto de inversión dado [41]. La fórmula de la TIR es la siguiente:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

En los casos de subvención analizados, los valores de la TIR se recogen en la figura 49. Al igual que el VAN, mientras mayor sea la subvención, y consecuentemente menor sea la inversión inicial, mayor será la TIR.

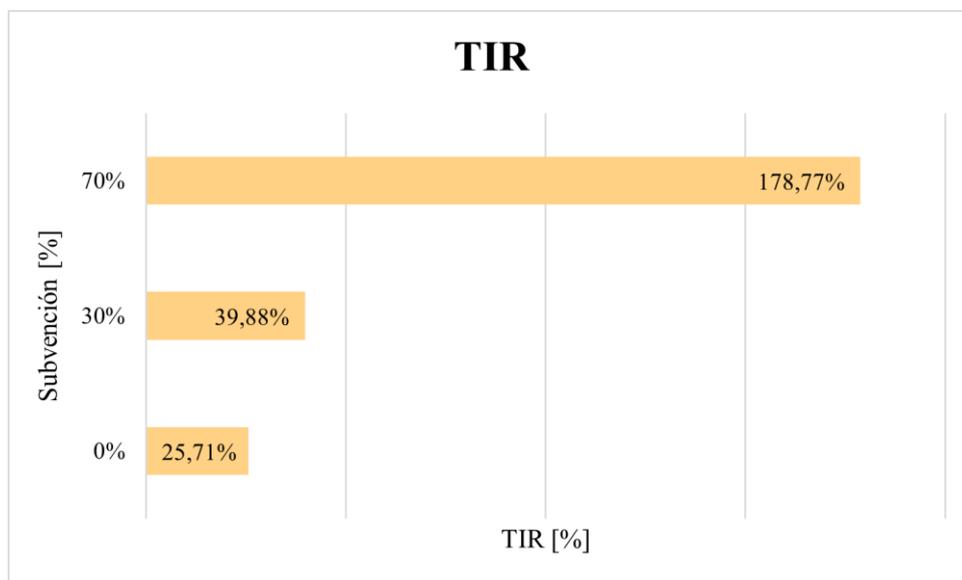


Fig. 49 | TIR según la subvención

9.5.3 PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno representa el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial realizada en el proyecto a través de los flujos de caja generados por el mismo. En otras palabras, es el tiempo que tarda en recuperarse el desembolso inicial de capital. Para las subvenciones de 0%, 30% y 70%, los periodos de retorno son 5, 3 y 1 años, respectivamente.

10. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una agenda global adoptada por las Naciones Unidas con el propósito de abordar los desafíos más apremiantes que enfrenta la humanidad y el planeta. Fueron establecidos en 2015 como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que busca promover un futuro sostenible, equitativo y próspero para todos.

Los ODS son una llamada a la acción para todos los países, organizaciones y personas, con el objetivo de transformar nuestro mundo. Estos objetivos abarcan una amplia gama de temas y desafíos, como la pobreza, el hambre, la salud, la educación, la igualdad de género, el acceso a agua limpia y saneamiento, la energía sostenible, el empleo digno, la infraestructura, la conservación del medio ambiente, el cambio climático, la paz y la justicia, entre otros.

Cada uno de los 17 ODS tiene metas específicas a alcanzar, y todos están interrelacionados y se refuerzan mutuamente. El enfoque de los ODS es integral, reconociendo que el desarrollo sostenible requiere abordar simultáneamente los aspectos económicos, sociales y ambientales. Además, los ODS promueven la colaboración y la participación de múltiples actores, incluyendo gobiernos, organizaciones internacionales, sociedad civil, sector privado y ciudadanos, en la implementación de acciones concretas para lograrlos.

La implementación de los ODS requiere un enfoque integrado y holístico, teniendo en cuenta la diversidad de contextos y realidades locales. Se hace hincapié en la necesidad de adoptar políticas y medidas que sean inclusivas, justas y sostenibles, teniendo en cuenta la equidad de género, los derechos humanos y la preservación del medio ambiente.

A continuación, se destaca cómo este trabajo de fin de máster, con el diseño de una instalación de autoconsumo y aerotermia contribuyen a varios ODS:

- *Energía asequible y no contaminante (ODS 7)*. Tanto el autoconsumo fotovoltaico como la aerotermia promueven el acceso universal a una energía asequible y sostenible. El autoconsumo fotovoltaico utiliza fuentes renovables para generar electricidad, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y contribuyendo a precios energéticos más estables y bajos. La aerotermia, por su parte, utiliza el calor del aire para climatizar los edificios, eliminando la necesidad de combustibles fósiles y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.
- *Industria, innovación e infraestructura (ODS 9)*. El autoconsumo fotovoltaico y la aerotermia están relacionados con la promoción de infraestructuras sostenibles y la innovación tecnológica. Estas tecnologías avanzadas fomentan la adopción de sistemas energéticos más eficientes y limpios, reduciendo la huella ambiental y promoviendo la transición hacia una industria más sostenible.
- *Ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11)*. El autoconsumo fotovoltaico y la aerotermia contribuyen a la construcción de comunidades sostenibles y resilientes. Al utilizar fuentes de energía renovable y eficiente, estas tecnologías reducen la dependencia de los sistemas energéticos convencionales y promueven la autonomía energética a nivel local. Además, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyen a la mitigación del cambio climático y al desarrollo de ciudades más limpias y habitables.
- *Producción y consumo responsables (ODS 12)*. El autoconsumo fotovoltaico y la aerotermia fomentan patrones de producción y consumo responsables. Al utilizar energía renovable y eficiente, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se disminuye la dependencia de los recursos no renovables. Esto contribuye a un uso más responsable de los recursos naturales y a la promoción de sistemas energéticos sostenibles a largo plazo.

- *Acción por el clima. (ODS 13).* El autoconsumo fotovoltaico y la aerotermia desempeñan un papel clave en la mitigación del cambio climático. Al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyen a la acción climática global y al logro de los objetivos establecidos en el Acuerdo de París. Estas tecnologías sostenibles ayudan a avanzar hacia una economía baja en carbono y a reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
- *Alianzas para lograr los objetivos (ODS 17).* La implementación exitosa del autoconsumo fotovoltaico y la aerotermia requiere la colaboración y la cooperación entre diferentes actores, incluyendo gobiernos, empresas, organizaciones y la sociedad civil. Estas tecnologías promueven la formación de alianzas y partenariados para avanzar hacia una transición energética sostenible y lograr los objetivos establecidos en la Agenda 2030.

En resumen, el autoconsumo mediante una instalación fotovoltaica con aerotermia en una urbanización residencial está alineado con múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible. A través de la generación de energía limpia, la reducción de emisiones, la promoción de la eficiencia energética y la creación de comunidades energéticas y sostenibles, esta solución contribuye a la construcción de un futuro más sostenible, resiliente y en armonía con el medio ambiente.

11. CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto de instalación fotovoltaica y de aerotermia en la urbanización residencial ha arrojado resultados altamente favorables en múltiples aspectos, lo cual ha demostrado su viabilidad técnica y económica, así como su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Todo esto hace que sea un acierto apostar por llevar a cabo el proyecto que se ha realizado en este trabajo de fin de máster.

Desde una perspectiva técnica, se ha demostrado que la implementación de sistemas fotovoltaicos y de aerotermia es perfectamente viable para la urbanización. Los estudios y análisis realizados han confirmado la eficiencia y la capacidad de estas tecnologías para proporcionar una fuente de energía limpia y sostenible. La instalación de paneles solares fotovoltaicos en cada uno de los bloques de la urbanización, combinada con los sistemas de aerotermia en cada una de las viviendas, ha permitido maximizar la generación de energía renovable y el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles, reduciendo así la dependencia de la urbanización a la volatilidad de los precios actuales del mercado eléctrico.

En términos económicos, el proyecto ha demostrado ser rentable en el corto plazo. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y aprovechar la energía solar y el calor del aire mediante la aerotermia, se ha logrado un ahorro significativo en los costes energéticos. Además, el proyecto se ha beneficiado de los avances tecnológicos en la industria solar y de aerotermia, lo que ha contribuido a la reducción de los costos de instalación y mantenimiento de los equipos. Además, se ha analizado la posibilidad de que el proyecto contara con alguna subvención por parte de instituciones públicas, como podría ser el Gobierno de España, la Junta de Andalucía, o el IDAE, lo que implicaría una reducción considerable de los costes.

La instalación de energía solar fotovoltaica y sistemas de aerotermia también ha tenido un impacto positivo en la reducción de la huella de carbono. Al generar electricidad a partir de fuentes renovables y utilizar calor proveniente del aire, se ha evitado la emisión de gases de

efecto invernadero asociados con la generación convencional de energía. Esto contribuye directamente a mitigar el cambio climático y promover la transición hacia un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Se ha estudiado cuál sería la huella de carbono si se deciden instalar los equipos de aerotermia, pero no se incluye la instalación fotovoltaica en cada uno de los bloques para satisfacer los consumos eléctricos. Al analizar el origen de la electricidad que suministra la comercializadora, se ha determinado que, con la adopción de ambas tecnologías, se reduce considerablemente la huella de carbono de la urbanización.

A su vez, el proyecto fomenta la independencia de la red eléctrica convencional. La generación de energía solar fotovoltaica y el uso de sistemas de aerotermia permiten a los residentes de la urbanización ser menos dependientes de la energía suministrada por la red eléctrica tradicional. Esto no solo proporciona una mayor estabilidad y seguridad energética, sino que también promueve la autogestión y la autonomía energética, permitiendo a los residentes tener un mayor control sobre su consumo y su impacto ambiental.

En cuanto al fomento de las comunidades energéticas, el proyecto puede crear un sentido de comunidad y cooperación entre los residentes. La participación en la gestión y optimización del consumo de energía promueve la conciencia colectiva sobre la importancia de la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables. El hecho de crear una comunidad energética hace que la urbanización pueda recibir subvenciones para la inversión en la instalación fotovoltaica y para la aerotermia, aspectos que se han analizado en la viabilidad económica del proyecto.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Renewables 2023 Global Status Report collection, Renewables in Energy Demand.* (2023). REN21
- [2] *Renewables 2022 Global Status Report.* Ren21. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf
- [3] *Plan de Energías Renovables 2011-2020.* IDAE
- [4] *Analysis of the Technological Innovation System for BIPV in Spain (2022).* International Energy Agency. Photovoltaic Power Systems Programme, octubre 2022.
- [5] *Informe de Sostenibilidad Ambiental del Plan de Energías Renovables 2011-2020.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [6] Desideri, U., Arcioni, L., Leonardi, D., Cesaretti, L., Perugini, P., Agabiti, E. and Evangelisti, N. *Design of a multipurpose “zero energy consumption” building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and technical plants solutions.* Energy, 2013; 58:157-167.
- [7] Lu, Y., Wang, S. and Shan, K. *Design optimization and optimal control of grid connected and standalone nearly/net zero energy buildings.* Applied Energy, 2015; 155: 899-910.
- [8] Guoying X, Xiaosong Z, Shiming D. *A simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater.* Applied Thermal Engineering 2006; 26: 1257-65G.
- [9] Sakai I., Terakawa M.T., Ohue J. *Solar space heating and cooling with bi-heat source heat pump and hot water supply system.* Solar Energy 1976; 18: 525-32.
- [10] Chatuverdi SK, Chen DT, Kheireddine A, *Thermal performance of a variable capacity direct expansion solar-assisted heat pump.* PII: S0196-8904(96)00228-2.

- [11] *Serie Ponencias. Aerogeneradores de Pequeña Potencia. Material Educativo.* CIEMAT, 2020.
- [12] *Evaluación del potencial de energía geotérmica; Estudio técnico PER 2011-2020.* IDAE.
- [13] *Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores,* «BOE» núm. 242, de 6 de octubre de 2018, páginas 97430 a 97467.
- [14] *Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica,* «BOE» núm. 83, de 6 de abril de 2019, páginas 35674 a 35719.
- [15] *Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica,* «BOE» núm. 175, de 24 de junio de 2020, páginas 43879 a 43927.
- [16] *Real Decreto 647/2020, de 7 de julio, por el que se regulan aspectos necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión de determinadas instalaciones eléctricas,* «BOE» núm. 187, de 8 de julio de 2020, páginas 48722 a 48757.
- [17] *Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica,* «BOE» núm. 340, de 30 de diciembre de 2020, páginas 124893 a 124931.
- [18] *Orden de 5 de marzo de 2013, por la que se dictan normas de desarrollo del Decreto 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos,* «BOJA» núm. 48, de 11 de marzo de 2013, páginas 9 a 39.
- [19] *Resolución de 8 de octubre de 2019, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se modifican los Anexos I y II de la Orden de 5 de marzo de 2013, por la*

que se dictan normas de desarrollo del decreto 59/2005, de 1 de marzo, por el que se regula el procedimiento para la instalación, ampliación, traslado y puesta en funcionamiento de los establecimientos industriales, así como el control, responsabilidad y régimen sancionador de los mismos, en lo relativo a la comunicación de puesta en servicio y a las fichas técnicas descriptivas de baja tensión, instalaciones frigoríficas, instalaciones térmicas en los edificios, almacenamiento de productos químicos y productos petrolíferos líquidos, «BOJA» núm. 198, de 14 de octubre de 2019, páginas 18 a 46.

[20] *Resolución de 5 de marzo de 2020, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueba el formulario de comunicación de instalaciones existentes de autoconsumo de conformidad al Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, «BOJA» núm. 55, de 20 de marzo de 2020, páginas 36 a 42.*

[21] *Decreto-ley 2/2018, de 26 de junio, de simplificación de normas en materia de energía y fomento de las energías renovables en Andalucía, «BOJA» núm. 127, de 3 de julio de 2018, páginas 13 a 18.*

[22] *Decreto-ley 26/2021, de 14 de diciembre por el que se adoptan medidas de simplificación administrativa y mejora de la calidad regulatoria para la reactivación económica en Andalucía, «BOJA» núm. 241, de 17 de diciembre de 2021, páginas 1 a 196.*

[23] *Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba la concesión directa a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla de ayudas para la ejecución de diversos programas de incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables en el sector residencial, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, «BOE» núm. 155, de 30 de junio de 2021, páginas 77938 a 77998.*

[24] *Resolución de 28 de septiembre de 2021, de la Agencia Andaluza de la Energía, por la que se convocan para el periodo 2021-2023 los incentivos ligados al autoconsumo y al almacenamiento, con fuentes de energía renovable, así como a la implantación de sistemas*

térmicos renovables en Andalucía acogidos al Real Decreto 477/2021, de 29 de junio, «BOJA» núm. 190, de 1 de octubre de 2021, páginas 21 a 52.

[25] *El IDAE publica el mapa de proyectos de más de 40 proyectos de comunidades energéticas de España.* IDAE. <https://www.idae.es/noticias/el-idae-publica-el-mapa-de-proyectos-de-mas-de-40-comunidades-energeticas-de-espana>

[26] Creus, A. (2012). *Energía termosolar*. Cano Pina.

[27] Cantos Serrano, J. (2013). *Configuraciones de instalaciones solares fotovoltaicas*.

[28] *¿Qué es el inversor en una instalación fotovoltaica?*. Blog Ecofener, junio de 2021 <https://ecofener.com/blog/que-es-un-inversor-de-corriente-conversor-de-corriente-continua-a-corriente-alterna-diferentes-tipos-de-inversores-que-inversor-fotovoltaico-necesito/>

[29] Rivas, P. *Precio aerotermia*. Blog Instalaciones y eficiencia energética, enero de 2023. <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/precio-aerotermia/>

[30] *Resumen de información básica de los consumos del sector residencial en España.* IDAE

[31] Barrella, R.; Priego, I.; Linares, J.I.; Arenas, E.; Romero, J.C.; Centeno, E. *Feasibility Study of a Centralised Electrically Driven Air Source Heat Pump Water Heater to Face Energy Poverty in Block Dwellings in Madrid (Spain)*. *Energies* 2020, 13, 2723. <https://doi.org/10.3390/en13112723>

[32] *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, IDAE, noviembre de 2015.

[33] *Documento Básico HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, junio de 2022.

[34] *¿Qué es la huella de carbono y por qué es importante?* Repsol, <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/cambio-climatico/reduccion-huella-carbono/index.cshtml>

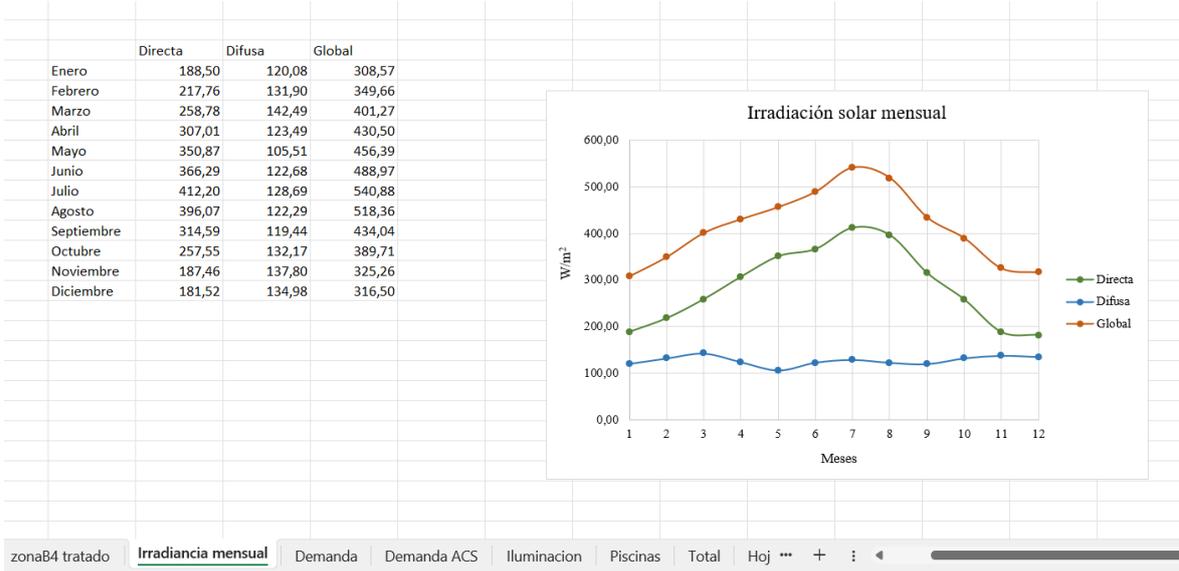
- [35] *Emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad en España*. REE, marzo 2021
- [36] *¿Qué es la huella de carbono y por qué es vital reducirla para frenar el cambio climático?* Iberdrola, <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/huella-de-carbono>
- [37] *Células half-cut, la tecnología del futuro*. Techno Sun, <https://www.technosun.com/es/blog/celulas-half-cut-tecnologia-futuro/>
- [38] *Tecnología PERC y half cell en paneles solares*. Blog Tecnosol, <https://tecnosolab.com/noticias/tecnologia-perc-y-half-cell-en-paneles-solares/>
- [39] *Tarifas de gas*. Factor Energía, <https://www.factorenergia.com/es/hogares/tarifas-gas/tarifa-gas-fija/>
- [40] *Plan Gas Hogar*. Iberdrola, <https://www.iberdrola.es/gas/plan-gas-hogar>
- [41] *Tasa interna de retorno*. Economipedia, <https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>

ANEXO

En el presente anexo, se adjuntan capturas de las hojas Excel que se han utilizado para los cálculos de este trabajo de fin de máster.

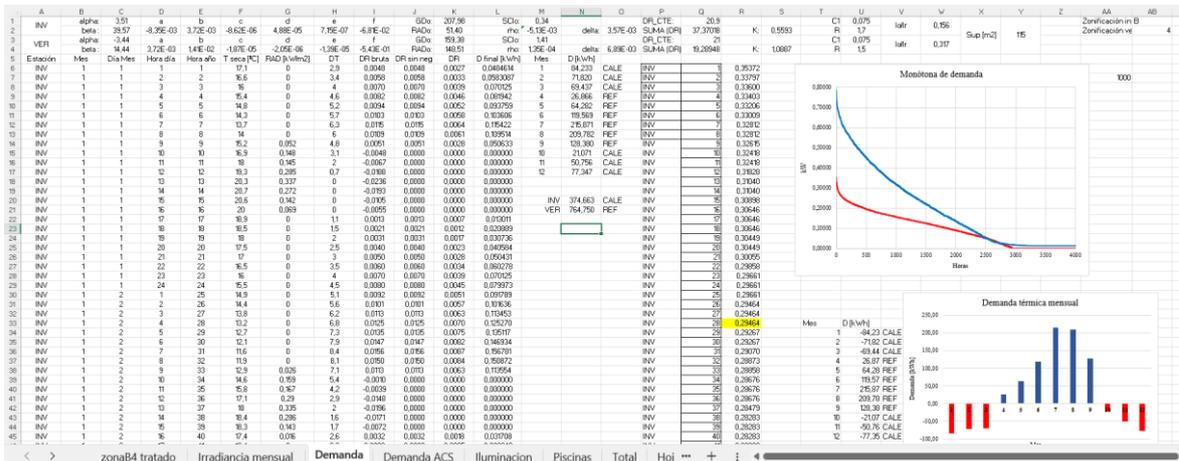
Primero se han tratado los datos meteorológicos que incluye el archivo “.met” para la zona climática donde está ubicada la urbanización.

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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27	28	29	30	31	32
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	26	27					



zonaB4 tratado **Irradiancia mensual** Demanda Demanda ACS Iluminacion Piscinas Total Hoj + -

A partir de los datos meteorológicos, y con la metodología explicada en el apartado correspondiente, se ha calculado el perfil diario de la demanda térmica para todas las horas de un año. Así, se han calculado los consumos de calefacción y refrigeración mensuales, y se ha obtenido la monótona de demanda.



Otro de los consumos para tener en cuenta es el de agua ACS, para este cálculo se ha seguido el procedimiento que establece el RITE. Una vez se tienen la demanda térmica y de ACS, se han elegido los equipos de aerotermia, y en función de los parámetros característicos de estos equipos (COP, EER y SCOP) se calculan los consumos eléctricos que tienen estos equipos en cada una de las viviendas.

	Días	Demanda mensual ACS	Tred	Demanda energética	Consumo eléctrico	Consumo eléctrico total aerotermia
Enero	31	3472,00	12	193,32	51,0081689	67,524
Febrero	28	3136,00	12	174,61	46,0718945	60,154
Marzo	31	3472,00	13	189,29	49,9454987	63,561
Abril	30	3360,00	14	179,29	47,3059631	52,281
Mayo	31	3472,00	16	177,21	46,7574881	58,662
Junio	30	3360,00	18	163,70	43,1924011	65,335
Julio	31	3472,00	20	161,10	42,5068074	82,483
Agosto	31	3472,00	20	161,10	42,5068074	81,355
Septiembre	30	3360,00	19	159,80	42,1640106	65,938
Octubre	31	3472,00	17	173,18	45,6948179	49,826
Noviembre	30	3360,00	14	179,29	47,3059631	57,258
Diciembre	31	3472,00	12	193,32	51,0081689	66,174

	Mes	Demanda térmica[kWh]	Consumo [kWh]
COP	5,1	31	1 84,23271606
EER	5,4	28	2 71,81960117
SCOP	3,79	31	3 69,43653468
		30	4 26,86644576
		31	5 64,2817863
		30	6 119,5693309
		31	7 215,8706004
		31	8 209,7817947
		30	9 128,3800419
		31	10 21,0711968
		30	11 50,75611832
		31	12 77,34706826

Para calcular los consumos eléctricos que hay en la urbanización, se tienen en cuenta los propios de las viviendas por electrodomésticos y por aerotermia, y los propios de las zonas comunes de la urbanización (pistas de pádel, iluminación de las zonas comunes y de las piscinas y las bombas de filtración de las piscinas)

Pádel								
pistas	focos	potencia	horas/dia		dias	kWh		
2	8	100	2		12 Enero	31	10,629	558
1			0,42857143		12 Febrero	28	9,600	504
					12 Marzo	31	10,629	558
	Zonas comunes	15 W			Abril	30	10,286	540
		0,015			Mayo	31	10,629	558
					Junio	30	96,000	540
					Julio	31	99,200	558
					Agosto	31	99,200	558
					Septiembre	30	96,000	540
					Octubre	31	10,629	558
					Noviembre	30	10,286	540
					Diciembre	31	10,629	558

		dias	horas/mes	Bombas		Iluminación	
				kWh piscina grande	kWh piscina chica		
	Enero	31	186			24,8	12,4
	Febrero	28	168			22,4	11,2
	Marzo	31	186			24,8	12,4
	Abril	30	180			24	12
	Mayo	31	186	2604	1581	24,8	12,4
	Junio	30	180	2520	1530	24	12
	Julio	31	186	2604	1581	24,8	12,4
	Agosto	31	186	2604	1581	24,8	12,4
	Septiembre	30	180	2520	1530	24	12
	Octubre	31	186			24,8	12,4
	Noviembre	30	180			24	12
	Diciembre	31	186			24,8	12,4

Bombas		nº de luces
Piscina grande	14 kW	20
Piscina chica	8,5 kW	10
4 W		
0,004		0,08
		0,04
		0,12

< >
zonaB4 tratado Irradiancia mensual Demanda Demandas aerotermita Iluminacion Piscinas Tota ...

Por último, se suman todos los consumos eléctricos de la urbanización que se han ido calculando previamente. Con ellos, se dimensiona la instalación fotovoltaica. Se ha hecho un diseño para uno de los bloques, dividiendo el consumo total entre cuatro, y se ha replicado en los tres bloques restantes. Se representa la energía que necesita la urbanización y la que es capaz de suministrar cada instalación fotovoltaica en cada uno de los bloques.

Luces padei	Luces zonas comunes	Bomba piscina grande	Bomba piscina chica	Luces piscina grande	Luces piscina chica	Consumo eléctrico por vivienda	Consumo eléctrico total viviendas	TOTAL	Aerotermita		
Enero	11	558	0	0	25	12	253	15.200	16.059,00	87,52	4.053
Febrero	9,60	504,00	0	0	22,40	11,20	253,33	15.200	16.000,53	60,15	3609,25015
Marzo	10,63	558,00	0	0	24,80	12,40	253,33	15.200	16.059,16	63,56	3813,63033
Abril	10,29	540,00	0	0	24,00	12,00	253,33	15.200	16.039,62	52,28	3136,87385
Mayo	10,63	558,00	2604	1581	24,80	12,40	253,33	15.200	20.244,16	58,66	3519,69136
Junio	96,00	540,00	2520	1530	24,00	12,00	253,33	15.200	20.175,33	65,33	3920,09218
Julio	99,20	558,00	2604	1581	24,80	12,40	253,33	15.200	20.332,73	82,48	4948,97067
Agosto	99,20	558,00	2604	1581	24,80	12,40	253,33	15.200	20.332,73	81,36	4881,31727
Septiembre	96,00	540,00	2520	1530	24,00	12,00	253,33	15.200	20.175,33	65,94	3956,28554
Octubre	10,63	558,00	0	0	24,80	12,40	253,33	15.200	16.059,16	49,83	2989,58551
Noviembre	10,29	540,00	0	0	24,00	12,00	253,33	15.200	16.039,62	57,26	3435,48859
Diciembre	10,63	558,00	0	0	24,80	12,40	253,33	15.200	16.059,16	66,17	3970,45564

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cocina	492											
Iluminación	476											
Electrodomést.	1839											
Standby	233											
							5,37313433					

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía solar	13.396	20.110,46	5.027,6	3349								
Energía suministrada al usuario	19.336	19.872,79	4.968,2	4834								
	19.564	19.176,49	4.794,1	4891								
	21.480	23.763,85	5.941,0	5370								
	21.548	24.095,42	6.023,9	5387								
	22.588	25.281,70	6.320,4	5647								
	22.140	25.214,05	6.303,5	5535								
	19.976	24.131,62	6.032,9	4769								
	16.780	19.048,75	4.762,2	4195								
	14.080	19.475,11	4.868,8	3520								
	12.252	20.029,62	5.007,4	3063								
							259,81	Mwh/e				

