



Máster Universitario en Ingeniería Industrial

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño Energético de una Vivienda Unifamiliar
Autosuficiente con Energías Renovables

Autor: Álvaro Vaquero Martínez

Directora: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Diseño Energético de una Vivienda Unifamiliar Autosuficiente con Energías Renovables”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021/2022 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Álvaro Vaquero Martínez

Fecha: 23/08/2022

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: 23/08/2022



Máster Universitario en Ingeniería Industrial

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño Energético de una Vivienda Unifamiliar
Autosuficiente con Energías Renovables

Autor: Álvaro Vaquero Martínez

Directora: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Agradecimientos

A mi familia, por apoyarme durante todos mis estudios y darme la oportunidad de recibir una formación académica excepcional.

A mi directora, Mar, por guiarme y apoyarme en este proyecto.

DISEÑO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR AUTOSUFICIENTE CON ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Vaquero Martínez, Álvaro.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha estudiado la viabilidad de la implantación de un diseño energético utilizando únicamente tecnologías de energía renovable para lograr la autosuficiencia de una vivienda tipo unifamiliar. Para ello, se han analizado varias configuraciones utilizando distintas tecnologías para satisfacer la demanda eléctrica, térmica y de agua caliente sanitaria.

Palabras clave: Energía Renovable, Autosuficiencia, Independencia Energética, Sostenibilidad.

1. Introducción

El cambio climático y la dependencia energética son dos de los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad actual. El uso de las tecnologías de energía renovable es cada vez más frecuente en la generación y el mix energético tiende hacia una infraestructura en la que predominan estas tecnologías. Sin embargo, en el ámbito doméstico no es tan frecuente el uso de energías renovables para el autoabastecimiento y siempre es necesaria una conexión a la red eléctrica.

En este proyecto se analiza la viabilidad de la implantación de un diseño energético basado en energías renovables para satisfacer la demanda eléctrica, la demanda térmica y la demanda de agua caliente sanitaria de una vivienda unifamiliar tanto desde un punto de vista técnico como desde un punto de vista económico. Una de las premisas del proyecto es que la vivienda debe ser energéticamente autosuficiente y estar desconectada de la red. Para ello, primero se ha definido un emplazamiento y una vivienda tipo para determinar las demandas energéticas que el diseño debe satisfacer.

2. Selección de emplazamiento y vivienda tipo

El emplazamiento elegido para el desarrollo del proyecto ha sido Majadahonda por diversas razones entre las que destacan que es una localidad en la que predominan las viviendas unifamiliares y que se trata de una zona sin valores extremos de variables meteorológicas como irradiación, viento o lluvia. Además, es un punto céntrico de España y con facilidad de obtención de recursos materiales.

La vivienda a la que se aplica el diseño energético es una vivienda unifamiliar habitada por cuatro individuos; dos adultos y dos niños. La vivienda cuenta con un espacio habitable de 138,74 m² y un garaje. Para aumentar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, se ha optado por una orientación sur de la fachada principal. Para analizar un escenario futurista y más sostenible, se ha considerado que los habitantes de la vivienda tienen un coche eléctrico que recargan en la vivienda.



Ilustración 1. Plano de la vivienda

3. Resultados

Primeramente, se han calculado las demandas energéticas de la vivienda. Estas demandas incluyen la demanda de equipos eléctricos, la demanda de agua caliente sanitaria y la demanda térmica. El cálculo se ha realizado mensualmente para diferenciar las cargas de refrigeración y calefacción, así como la temperatura de red del agua caliente sanitaria entre las distintas estaciones del año. Para el cálculo de la demanda térmica se ha empleado el programa CLIMA de Acetyr.

Mes	Demanda de Equipos Eléctricos [kWhe]	Demanda de ACS [kWht]	Demanda de Refrigeración [kWht]	Demanda de Calefacción [kWht]
Enero	261	283,09	24,00	1.254,00
Febrero	261	255,70	24,00	889,00
Marzo	261	272,20	25,00	632,00
Abril	261	252,89	14,00	378,00
Mayo	261	250,43	28,00	51,00
Junio	261	226,54	496,00	0,00
Julio	261	217,76	1273,00	0,00
Agosto	261	223,21	1155,00	0,00
Septiembre	261	226,54	408,00	0,00
Octubre	261	255,87	6,00	127,00
Noviembre	261	263,42	27,00	706,00
Diciembre	261	283,09	25,00	1.206,00

Tabla 1. Demanda energética de la vivienda

Tras el cálculo de la demanda energética, se han analizado tres soluciones con tres configuraciones distintas. Las tres soluciones utilizan la tecnología solar fotovoltaica para el abastecimiento eléctrico tanto de los equipos eléctricos como de los equipos de climatización. La primera solución utiliza la aerotermia para climatización y calentamiento de agua caliente sanitaria mientras que la segunda utiliza la geotermia

para el mismo fin. La tercera solución utiliza la aerotermia para la climatización y la solar térmica para el calentamiento de agua caliente sanitaria.

Los tres diseños analizados abastecen las necesidades energéticas de la vivienda. La elección de la solución definitiva se ha realizado en función del desembolso inicial que se debe realizar por los equipos. La solución más económica, y por tanto elegida, es la solución aerotermia-fotovoltaica. La solución aerotermia-solar térmica-fotovoltaica resulta más costosa ya que requiere la instalación de un tercer equipo ya que no integra el calentamiento de agua caliente sanitaria en la aerotermia. En la segunda solución planteada, la geotermia, pese a ser más eficiente que la aerotermia y hacer que la instalación fotovoltaica necesaria sea más pequeña y barata, es más costosa que la aerotermia, haciendo que el precio global de la solución sea más elevado.

El proyecto implica una inversión inicial de 42.403,17 € teniendo en cuenta el coste de los equipos y el coste de obra. Además, es necesario asumir unos costes de operación por mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, así como una reinversión en baterías en el año 12 para extender la vida útil del proyecto a 25 años. Los indicadores financieros muestran una inversión económicamente viable con un VAN de 2.038,53 € y una TIR del 5,43%. El retorno de la inversión se produce en el año 17, ocho años antes del fin de su vida útil.

4. Conclusiones

Con la tecnología actual que hay en el mercado se ha concluido que es viable tanto técnica como económicamente el diseño energético de una vivienda aislada de la red y con el uso exclusivo de tecnologías renovables. El diseño sirve como base para una solución extrapolable a otros emplazamientos u otros edificios con distintas demandas energéticas.

El proyecto involucra varios de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la ONU en la Agenda 2030. El diseño energético de la vivienda es seguro, resiliente y sostenible. Además, el diseño contribuye en la acción contra el cambio climático reduciendo la huella de carbono mediante el uso de energías renovables y puede servir de base para su extrapolación a otros lugares en desarrollo para luchar contra la pobreza energética. Con la implantación del diseño energético, se lograría evitar una emisión de 1.691 kg de CO₂ en la generación de la energía procedente de la red.

La diferencia en la demanda energética entre los distintos meses del año es muy significativa. La demanda térmica por calefacción y refrigeración tiene una gran variabilidad. En los meses de primavera y otoño en los que la temperatura es más estable y cercana a las condiciones de confort, la demanda energética es hasta tres veces menor que en meses como enero, donde la demanda por calefacción es muy grande. Este problema se suma al hecho de que, durante los meses de más demanda en invierno, la irradiación es menor, por lo que es necesario sobredimensionar la instalación fotovoltaica. La autosuficiencia y desconexión de la red presenta un problema en este sentido ya que es necesario dimensionar los equipos para poder satisfacer las demandas energéticas durante todos los meses, quedando estos equipos muy sobredimensionados en épocas donde no se requiere tanta energía o el recurso solar es abundante. De aquí se concluye que el emplazamiento y las condiciones climatológicas juegan un papel fundamental en la viabilidad de este tipo de proyectos.

ENERGY DESIGN OF A SELF-SUFFICIENT SINGLE-FAMILY HOUSE WITH RENEWABLE ENERGIES.

Author: Vaquero Martínez, Álvaro.

Supervisor: Cledera Castro, María del Mar.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In this project, the feasibility of implementing an energy design using only renewable energy technologies to achieve self-sufficiency in a single-family home has been studied. To do this, several configurations have been analyzed using different technologies to meet the electrical, thermal and domestic hot water demands.

Keywords: Renewable Energy, Self-sufficiency, Energy Independence, Sustainability.

1. Introduction

Climate change and energy dependence are two of the major problems facing today's society. The use of renewable energy technologies is becoming more frequent in generation and the energy mix tends towards an infrastructure in which these technologies predominate. However, in the domestic ambit, the use of renewable energies for self-supply is not so frequent and a connection to the electricity grid is always necessary.

This project analyzes the feasibility of implementing an energy design based on renewable energies to satisfy the electrical demand, the thermal demand and the demand for domestic hot water in a single-family dwelling, both from a technical and an economical point of view. One of the premises of the project is that the house must be energetically self-sufficient and be disconnected from the grid. To do this, a site and a single-family house have first been defined to determine the energy demands that the design must satisfy.

2. Location and house chosen

The location chosen for the development of the project has been Majadahonda for various reasons, among which are that it is a town in which single-family homes predominate and that it is an area without extreme values of meteorological variables such as irradiation, wind or rain. In addition, it is located in the center of Spain, making it easier to obtain the necessary resources.

The house to which the energy design is applied is a single-family house inhabited by four individuals: two adults and two kids. The house has a living space of 138.74 m² and a garage. To increase the efficiency of the photovoltaic panels, a south orientation of the main façade has been chosen. To analyze a futuristic and more sustainable scenario, it has been considered that the inhabitants of the house have an electric car that they recharge in the house.



Image 1. Plan of the house

3. Results

Firstly, the energy demands of the house have been calculated. These demands include the demand for electrical equipment, the demand for domestic hot water and the thermal demand. The calculation has been carried out monthly to differentiate the cooling and heating loads, as well as the grid temperature of the domestic hot water between the different seasons of the year. For the calculation of the thermal demand, the CLIMA program of Acetyr has been used.

Month	Electrical equipment demand [kWhe]	DHW demand [kWht]	Refrigeration demand [kWht]	Heating demand [kWht]
January	261	283,09	24,00	1.254,00
February	261	255,70	24,00	889,00
March	261	272,20	25,00	632,00
April	261	252,89	14,00	378,00
May	261	250,43	28,00	51,00
June	261	226,54	496,00	0,00
July	261	217,76	1273,00	0,00
August	261	223,21	1155,00	0,00
September	261	226,54	408,00	0,00
October	261	255,87	6,00	127,00
November	261	263,42	27,00	706,00
December	261	283,09	25,00	1.206,00

Image 2. Energy demand of the house.

After calculating the energy demand, three solutions with three different configurations have been analyzed. The three solutions use photovoltaic solar technology for the electrical supply of both the electrical equipment and the air conditioning equipment. The first solution uses aerothermal energy for air conditioning and hot water heating, while the second uses geothermal energy for the same purpose.

The third solution uses aerothermal energy for air conditioning and solar thermal for heating domestic hot water.

The three analyzed designs supply the energy needs of the dwelling. The choice of the definitive solution has been made based on the initial outlay that must be made by the teams. The most economical solution, and therefore chosen, is the aerothermal-photovoltaic solution. The aerothermal-solar thermal-photovoltaic solution is more expensive since it requires the installation of a third piece of equipment since it does not integrate the heating of domestic hot water in the aerothermal system. In the second proposed solution, geothermal energy, despite being more efficient than aerothermal energy and making the necessary photovoltaic installation smaller and cheaper, is more expensive than aerothermal energy, making the overall price of the solution higher.

The project involves an initial investment of 42,403.17 €, considering the cost of the equipment and the cost of the work. In addition, it is necessary to assume some operating costs for preventive maintenance and corrective maintenance, as well as a reinvestment in batteries in year 12 to extend the useful life of the project to 25 years. The financial indicators show an economically viable investment with a NPV of €2,038.53 and an IRR of 5.43%. The return on investment occurs in year 17, eight years before the end of its useful life.

4. Conclusions

With the current technology on the market, it has been concluded that the energy design of a house isolated from the network and with the exclusive use of renewable technologies is both technically and economically feasible. The design serves as basis for a solution that can be extrapolated to other sites or other buildings with different energy demands.

The project involves several of the sustainable development goals established by the UN in the 2030 Agenda. The energy design of the house is safe, resilient and sustainable. In addition, the design contributes to action against climate change by reducing the carbon footprint through the use of renewable energies and can serve as a basis for its extrapolation to other developing places to fight against energy poverty. With the implementation of the energy design, it would be possible to avoid an emission of 1,691 kg of CO₂ in the generation of energy from the network.

The difference in energy demand between the different months of the year is very significant. The thermal demand for heating and cooling has a great variability. In the spring and autumn months, when the temperature is more stable and closer to comfort conditions, the energy demand is up to three times less than in months like January, where the demand for heating is very high. This problem is added to the fact that, during the months of greatest demand in winter, the irradiation is lower, so it is necessary to oversize the photovoltaic installation. Self-sufficiency and disconnection from the network present a problem in this sense, since it is necessary to size the equipment to be able to meet the energy demands during every month of the year, leaving this equipment very oversized in times when so much energy is not required, or the solar resource is abundant. Therefore, location and weather conditions play a fundamental role in the viability of this type of project.

Índice de la memoria

1. Introducción	7
1.1 Motivación del proyecto.....	7
1.2 Objetivos	8
1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible	9
2. Estado de la Cuestión	11
2.1 Tecnologías renovables utilizadas en viviendas.....	11
2.1.1 Energía solar fotovoltaica.....	11
2.1.2 Energía solar térmica.....	12
2.1.3 Aerotermia.....	13
2.1.4 Geotermia.....	15
2.1.5 Minieólica.....	16
2.2 Sistemas de almacenamiento de energía	18
2.2.1 Baterías	19
2.2.2 Acumulador de agua.....	20
2.2.3 Pilas de combustible de hidrógeno.....	21
2.3 Net zero energy buildings.....	24
2.4 Ejemplos de proyectos operativos	25
2.4.1 Lifehaus Project.....	25
2.4.2 Casa Martina.....	26
3. Emplazamiento	28
3.1 Emplazamiento Base	28
3.1.1 Zona Climática base.....	29
3.2 Condiciones climatológicas.....	30
4. Descripción de la vivienda.....	32
4.1 Vivienda tipo	32
4.2 Coche Eléctrico	33
5. Demanda Energética	35
5.1 Demanda Equipos eléctricos	35
5.2 Demanda de ACS	36
5.3 Demanda Térmica	39

5.3.1	Introducción al cálculo de la demanda térmica	39
5.3.2	Resultados del cálculo de la demanda térmica	41
5.4	Resumen demanda energética	47
6.	Posibles Soluciones	49
6.1	Aeroterminia y solar fotovoltaica	49
6.1.1	Elección equipo aeroterminia	49
6.1.2	Cálculo gasto eléctrico equipo aeroterminia	52
6.1.3	Elección paneles fotovoltaicos, batería y conversor	54
6.1.4	Dimensionamiento fotovoltaico y de baterías	55
6.1.5	Coste Equipos	61
6.2	Geoterminia y solar fotovoltaica	62
6.2.1	Cálculo gasto eléctrico equipo geoterminia	63
6.2.2	Elección paneles fotovoltaicos y batería	65
6.2.4	Dimensionamiento fotovoltaico y de baterías	66
6.2.5	Coste económico Equipos	69
6.3	Aeroterminia, solar fotovoltaica y solar térmica	70
6.3.1	Gasto eléctrico aeroterminia	71
6.3.2	Dimensionamiento Instalación Fotovoltaica	71
6.3.3	Dimensionamiento Equipo Solar Térmico	76
6.3.4	Coste económico equipos	80
6.4	Solución escogida	81
7.	Análisis Económico	83
7.1	Inversión Inicial	83
7.2	Costes de Operación	84
7.3	Flujos de caja	85
7.3.1	Flujos de caja por gas natural	85
7.3.2	Flujos de caja por electricidad	86
7.4	Cuenta de resultados	89
7.5	Viabilidad económica del proyecto	91
7.5.1	VAN	91
7.5.2	TIR	92
7.5.3	Periodo de retorno de la inversión	92
8.	Impacto Medioambiental	93

9. Conclusiones y Trabajos Futuros	95
10. Bibliografía	98
ANEXO I	100
ANEXO II	101
ANEXO III	102
ANEXO IV	103

Índice de figuras

Ilustración 1. Plano de la vivienda.....	10
Ilustración 2. Esquema básico de una instalación de energía solar térmica.	13
Ilustración 3. Funcionamiento aerotermia con bomba de calor aire-agua. Foto: Inditer.....	14
Ilustración 4. Geotermia en vivienda unifamiliar.	15
Ilustración 5. Aerogeneradores domésticos de eje vertical.	17
Ilustración 6. Aerogenerador doméstico de eje horizontal	18
Ilustración 7. Funcionamiento de un acumulador de ACS. Imagen: arco	21
Ilustración 8. Diagrama de una pila de combustible de hidrógeno. Fuente: SoCalGas. Fuel Cell technology.	23
Ilustración 9. Prototipo Lifehaus Project	25
Ilustración 10. Casa Martina. Foto: El Mundo	26
Ilustración 11. Mapa de Majadahonda	28
Ilustración 12. Zonas climáticas en función de la provincia y la altitud.	29
Ilustración 13. Irradiación solar en Zona Climática D3 a lo largo de un año natural.....	31
Ilustración 14. Plano de la casa con tres habitaciones, dos baños y un garaje.	32
Ilustración 15. TESLA Model 3. Imagen: TESLA.....	34
Ilustración 16. Cargas térmicas del edificio en Julio, hora 20.....	43
Ilustración 17. Cargas térmicas del edificio en febrero, hora 10	45
Ilustración 18. Demanda mensual de la vivienda	47
Ilustración 19. Equipo de aerotermia THERMIRA MONOBLOC 8M.	51
Ilustración 20. Interacumulador MTG-201 Thermira.....	51
Ilustración 21. Datos meteorológicos de PVGIS utilizados en PVSyst	57
Ilustración 22. Tilt óptimo anual	58
Ilustración 23. Tilt óptimo en invierno	58
Ilustración 24. Diagrama de pérdidas de Sankey 6.1	60
Ilustración 25. Diagrama de pérdidas de Sankey solución Geotermia-Fotovoltaica.....	68
Ilustración 26. Diagrama de Sankey de pérdidas solución Geotermia-Solar Térmica-Fotovoltaica	75
Ilustración 27. Estructura de la generación en España de enero a junio de 2022. Fuente: REE.....	93

Índice de tablas

Tabla 1. Demanda energética de la vivienda.....	10
Tabla 2. Valores climatológicos de referencia Zona D3	30
Tabla 3. Irradiación en Zona Climática D3	30
Tabla 4. Dimensiones de la vivienda.....	33
Tabla 5. Demanda eléctrica de la vivienda.....	35
Tabla 6. Demanda de ACS mensual.....	37
Tabla 7. Propiedades del agua	37
Tabla 8. Temperatura diaria media mensual del agua fría de red para Madrid. Fuente: DB-HE-2019	38
Tabla 9. Demanda energética mensual para calentamiento de ACS	38
Tabla 10. Condiciones exteriores de cálculo para cargas térmicas de la base de datos del programa CLIMA	39
Tabla 11. Descripción de los cerramientos opacos de la envolvente térmica	41
Tabla 12. Cargas térmicas en refrigeración	42
Tabla 13. Valores de las cargas térmicas del edificio en Julio, hora 20.....	43
Tabla 14. Cargas térmicas en calefacción	44
Tabla 15. Valores de las cargas térmicas del edificio en febrero, hora 10	45
Tabla 16. Demanda mensual del edificio en refrigeración [kWh]	46
Tabla 17. Demanda mensual del edificio en calefacción [kWh].....	47
Tabla 18. Resumen de la demanda energética de la vivienda	48
Tabla 19. THERMIRA MONOBLOC 8M.....	50
Tabla 20. Características técnicas Interacumulador MTG-201 Thermira	52
Tabla 21. Energía eléctrica consumida para refrigeración y calefacción por el equipo de aerotermia	53
Tabla 22. Energía eléctrica consumida para ACS por el equipo de aerotermia	53
Tabla 23. Consumo eléctrico total solución Aerotermia-Fotovoltaica.....	54
Tabla 24. Características paneles solares SunPower X21-470-COM	55
Tabla 25. Energía a suministrar por la instalación fotovoltaica en el año 1	56
Tabla 26. Balances y principales resultados simulación PVSyst	59
Tabla 27. Principales características instalación fotovoltaica 6.1	61
Tabla 28. Coste equipos solución Aerotermia-Fotovoltaica.	62
Tabla 29. Características principales HC 1-10 Elite Clasius.....	63
Tabla 30. Energía eléctrica consumida para refrigeración y calefacción por el equipo de geotermia	64
Tabla 31. Energía eléctrica consumida para ACS por el equipo de geotermia	64
Tabla 32. Consumo eléctrico total solución Geotermia-Fotovoltaica	65
Tabla 33. Energía a suministrar por la instalación fotovoltaica en el año 1	66
Tabla 34. Balances y principales resultados simulación PVSyst	67
Tabla 35. Principales características instalación fotovoltaica 6.2	69
Tabla 36. Coste económico equipos solución Geotermia-Fotovoltaica	70
Tabla 37. Gasto eléctrico aerotermia 6.3	71
Tabla 38. Demanda eléctrica a cubrir por la instalación fotovoltaica	72
Tabla 39. Energía a suministrar por la instalación fotovoltaica en el Año 1	73

Tabla 40. Balances y principales resultados simulación PVSyst solución Geotermia-Solar Térmica-Fotovoltacia.....	74
Tabla 41. Principales características instalación fotovoltaica 6.3	76
Tabla 42. Inputs técnicos equipo solar térmico	77
Tabla 43. Resultados demanda energética ACS con software ESCOSOL.....	78
Tabla 44. Características captador genérico	78
Tabla 45. Cálculo de la superficie de captadores (Método f-Chart).....	79
Tabla 46. Fracción solar mensual y energía útil aportada por los captadores	80
Tabla 47. Coste económico equipos 6.3	81
Tabla 48. Comparativa de costes de las tres soluciones propuestas	82
Tabla 49. Costes de obra.....	83
Tabla 50. Inversión inicial	84
Tabla 51. Costes de operación	85
Tabla 52. Demanda de kWh por ACS y calefacción	86
Tabla 53. Ahorro anual en gas natural.....	86
Tabla 54. Consumo eléctrico de AC en un diseño convencional	87
Tabla 55. Consumo eléctrico anual con un diseño energético convencional	87
Tabla 56. Ahorro anual en electricidad	88
Tabla 57. Hipótesis asumidas en la cuenta de resultados	89
Tabla 58. Cuenta de resultados.....	90

1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente se está viviendo una época en el que el abastecimiento energético es una incertidumbre a nivel global. Los precios de los combustibles fósiles y la electricidad están en máximos históricos y las reservas de gas natural y petróleo se van agotando inevitablemente. En la sociedad en la que vivimos existe una gran dependencia energética. La energía es el principal motor del mundo ya que se requiere para realizar tanto actividades industriales de fabricación, distribución o explotación como para las actividades cotidianas del día a día como el transporte, calefacción o el uso de ACS. Desde que nos levantamos hasta que nos acostamos estamos constantemente utilizando energía para encender la televisión, para cargar el móvil, para cocinar... etc. Además, existe una gran dependencia del suministro energético a los hogares que hace que la sociedad sea precio aceptante al no tener capacidad de elección. Otra parte del problema son los hogares y edificios que se encuentran alejados de la infraestructura de suministro de energía y cuya vida se ve muy dificultada por su inaccesibilidad a la electricidad y al gas natural. Esto es un problema latente tanto en España como en otros lugares del mundo, especialmente en países subdesarrollados. La inaccesibilidad a los recursos energéticos no solo empeora la calidad de vida, sino que frena enormemente el desarrollo.

Cada vez es mayor la evidencia acerca del cambio climático y de la necesidad de una transición energética hacia energías renovables. No solo los recursos fósiles se están agotando, sino que el uso de estos está alterando la naturaleza, produciendo una elevación en las temperaturas registradas y una contaminación severa, especialmente en las grandes áreas metropolitanas.

Juntando todos estos problemas que la sociedad tiene que hacer frente y con la motivación de aplicar la ingeniería para tener impacto de una manera positiva sobre la sociedad es que decidí abordar este proyecto en el que se diseña una solución energética para una vivienda aislada de la red solamente con energías renovables.

El proyecto comienza definiendo un emplazamiento y unas demandas energéticas del hogar para, a partir de la demanda y las condiciones climatológicas, estudiar la mejor solución posible. Esta solución se realizará buscando la mejor combinación entre las energías renovables disponibles para uso doméstico: energía solar fotovoltaica, energía solar térmica, minieólica, aerotermia y geotermia. Además, se valorará el uso de sistemas de almacenamiento de energía para hacer frente a la variabilidad de la generación a lo largo del día y del año.

1.2 OBJETIVOS

Son varios los objetivos perseguidos en este proyecto. El objetivo principal y más importante es lograr un diseño energético que logre satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda, tanto de climatización como de consumo eléctrico. Esto es importante para lograr la autosuficiencia y que la vivienda se pueda ubicar en un lugar desconectado de la red. Otro objetivo muy importante es optimizar este diseño para que el proyecto sea lo más económicamente viable. Con la inflación actual y la incertidumbre acerca de los precios, lograr un diseño que permita no solo ser autosuficientes sino ahorrar en comparativa con un diseño tradicional se postula como un objetivo primordial.

Lograr accesibilidad a la energía es uno de los objetivos de este proyecto. En España y en otros países, especialmente los países más subdesarrollados hay zonas donde el tendido eléctrico no llega y la energía es difícil de obtener. Lograr un diseño que sea extrapolable o que sirva de referencia para otras zonas climáticas puede servir de ayuda para que en estos lugares se logre accesibilidad a la energía y de esta forma reducir la tan preocupante pobreza energética.

Como en cualquier proyecto con energías renovables, uno de los objetivos intrínsecos es el de reducir la huella de carbono. Todas las viviendas tienen un impacto en la huella de carbono y cuanto más eficiente y menor CO₂ se emita debido a su diseño, más beneficiado se va a ver el medio ambiente y las generaciones siguientes. En los últimos años se ha ido introduciendo el certificado energético de las viviendas. Este certificado lo que busca es que las viviendas sean eficientes energéticamente para de esa forma lograr

reducir el impacto sobre la huella de carbono. Con este diseño se busca alcanzar la máxima calificación energética.

1.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de desarrollo sostenible son 17 objetivos establecidos por la ONU en 2015 en la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible. Estos objetivos buscan mejorar la calidad de vida en todos los ámbitos posibles como la educación, la pobreza, la igualdad o el medio ambiente. Este proyecto se alinea con muchos de estos objetivos, los cuales son explicados a continuación.

1. Poner fin a la pobreza: La demanda energética de un país está fuertemente relacionada con su producto interior bruto. Cuanto mayor es esta demanda, mayor es el producto interior bruto. Esto se debe a la actividad industrial y al bienestar de las personas. Con este proyecto se busca lograr una solución que sea extrapolable y adaptable a otros escenarios, como puede ser países subdesarrollados en los que la energía no es tan accesible y de esta forma combatir la pobreza energética.

6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos: El acceso a agua caliente sanitaria es fundamental para la salud y bienestar de las personas. En muchos lugares no cuentan con los medios para obtener agua potable y caliente, lo cual desemboca en problemas de salud. Últimamente, y debido a la pandemia de la COVID-19, el lavado de las manos se ha vuelto fundamental para evitar la propagación del virus.

7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura y sostenible y moderna: Este es el objetivo con el que más se alinea el proyecto. El objetivo principal es que la vivienda sea autosuficiente, es decir, que no requiera estar conectada a la red eléctrica. Esto se consigue instalando los equipos necesarios para aprovechar las fuentes renovables, lo cual implica un diseño sostenible y moderno.

9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación: Actualmente en el mundo, y especialmente en España, existen

muy pocas viviendas autosuficientes. Con este proyecto se busca innovar en una nueva idea de vivienda, eliminando la dependencia energética que existe en la sociedad actual.

11. Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles: En un mundo cada vez más urbanizado y con áreas metropolitanas muy extendidas surgen problemas de urbanismo y sostenibilidad. Un diseño como el del proyecto evita problemas urbanísticos en ciudades como el tendido eléctrico, el cual supone un gran coste tanto de implementación como de mantenimiento. Además, la huella de carbono se vería reducida, evitando los altos, e indeseados, niveles de contaminación en las ciudades.

12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles: Este objetivo se logra buscando la eficiencia tanto en la producción como en el consumo. En el caso de este proyecto se logra con un buen aislamiento de la vivienda y el uso de equipos de alta eficiencia energética, buscando la sostenibilidad a largo plazo.

13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos: El cambio climático es uno de los problemas más discutidos en la actualidad. Es innegable que el cambio climático está teniendo unas consecuencias severas sobre la naturaleza y la humanidad y que la inacción acerca de este tema puede engravar el problema. El uso de energías renovables para la obtención de energía es fundamental para la descarbonización y la reducción del efecto invernadero.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El uso de las energías renovables está ampliamente extendido a nivel global. Existen numerosas plantas de generación eléctrica de origen renovable como las plantas fotovoltaicas o los parques eólicos. Actualmente el uso de las energías renovables en viviendas está creciendo exponencialmente, especialmente el caso de las instalaciones de autoconsumo fotovoltaico o los sistemas de aerotermia y geotermia. Sin embargo, el concepto de vivienda autosuficiente no está muy desarrollado y la conexión a la red es una necesidad.

2.1 TECNOLOGÍAS RENOVABLES UTILIZADAS EN VIVIENDAS

2.1.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La tecnología fotovoltaica actualmente es la que mayor crecimiento está experimentando en el ámbito del autoconsumo. El cambio de legislación en España en los últimos años ha permitido que los trámites para estas instalaciones sean mucho más sencillos y la facilidad de instalación junto con el gran rendimiento que ofrecen ha hecho que el número de instalaciones en España se haya visto multiplicado con un crecimiento exponencial.

La energía solar fotovoltaica, como su propio nombre indica, obtiene la energía de la radiación solar mediante un panel o módulo que la transforma en energía eléctrica. Esta transformación de energía ocurre debido al efecto fotovoltaico producido al incidir las partículas de luz sobre los paneles. Estos paneles están fabricados con silicio, que es un material semiconductor. El efecto fotovoltaico se produce cuando el electrón de valencia de este material choca con el fotón que incide, haciendo que el electrón salga de su órbita y el silicio se convierta en conductor, generando pequeñas diferencias de potencial y por ende una corriente continua.

Las instalaciones fotovoltaicas son relativamente sencillas, pero requieren de más elementos a parte de los paneles. Entre estos elementos se encuentran los siguientes elementos principales:

- **Inversor:** Es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna para su uso. En hogares en los que se utiliza la energía fotovoltaica para autoconsumo pueden ser monofásicos o trifásicos según la instalación eléctrica que disponga el hogar.
- **Contador:** Es un dispositivo electrónico que se encuentra entre el inversor y el consumo y la red eléctrica y mide la energía que circula en ambas direcciones, es decir, la energía consumida, la energía exportada y la energía importada de la red en caso de que la instalación tenga conexión a ella.
- **Sensores:** Puede haber de muchos tipos, pero los más comunes son los sensores térmicos y los sensores de radiación. Permiten monitorizar la instalación y estudiar la producción en función de las condiciones climatológicas. Además, sirven para realizar funciones de mantenimiento ya que permiten identificar si la producción no se alinea con las condiciones climatológicas.

2.1.2 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La fuente de energía de la tecnología solar térmica, al igual que la energía solar fotovoltaica, es el sol, pero con la diferencia de que esta energía es transformada en energía térmica en vez de en energía eléctrica, aunque también se puede hacer esto último.

Existen tres tipos de energía solar térmica [10]:

- **Las plantas de alta temperatura:** Estas plantas trabajan con temperaturas por encima de los 500°C y se utilizan para generar electricidad.
- **Las plantas de media temperatura:** Trabajan con temperaturas entre los 100 y 300 grados Celsius.
- **Las instalaciones de baja temperatura:** Trabajan con temperaturas menores a 65 grados Celsius y son las que se utilizan en las viviendas.

En las instalaciones de baja temperatura, caso que es de especial interés en este proyecto, la radiación solar se utiliza para calentar un circuito cerrado a través de un elemento denominado colector. Este circuito, llamado circuito primario, transfiere el calor a un circuito secundario, también cerrado, mediante un intercambiador de calor. Este calor transferido al circuito secundario es después llevado a un acumulador que funciona como un sistema de almacenamiento de calor con agua caliente para después ser utilizada para el consumo. Este acumulador es rellenado con agua fría de la red.

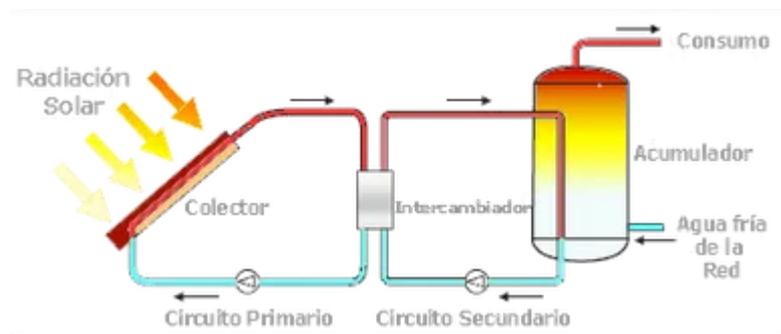


Ilustración 2. Esquema básico de una instalación de energía solar térmica. (www.solar-energia.net)

2.1.3 AEROTERMIA

La aerotermia es una tecnología que se utiliza para la climatización de los espacios habitables en viviendas o en oficinas/industrias. Su funcionamiento se basa en la obtención de energía del aire exterior para convertirla en calefacción, refrigeración o agua caliente mediante una bomba de calor.

Como se puede observar en la Ilustración 3, el calor se obtiene del aire o se libera al aire a través de la unidad exterior, por la cual pasa el líquido refrigerante del circuito. El calor es después intercambiado en el intercambiador de calor al agua del circuito de la vivienda. El circuito refrigerante cuenta con una válvula de expansión y un compresor para reducir y elevar la presión y la temperatura del refrigerante. La ventaja de este sistema es que se puede invertir el circuito para tomar calor del exterior y cederlo al interior (calefacción) o para tomar calor del interior y cederlo al exterior (refrigeración).

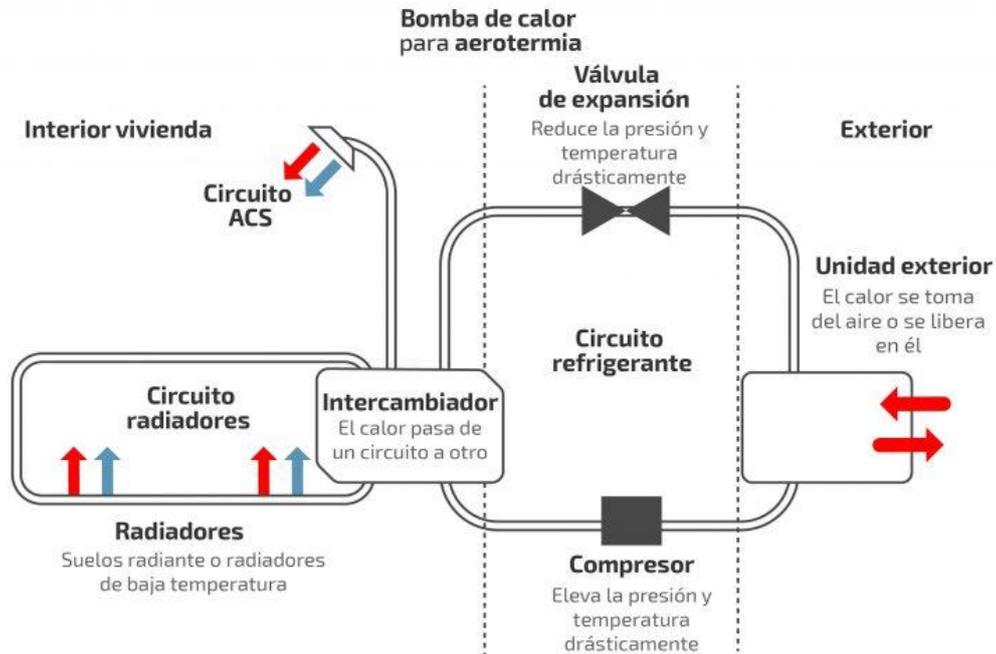


Ilustración 3. Funcionamiento aerotermia con bomba de calor aire-agua. Foto: Inditer

La aerotermia utiliza electricidad para suministrar al compresor, pero elimina la necesidad de recurrir al gas o combustibles fósiles para la climatización. En el caso del proyecto presente y con la combinación de otras fuentes de generación de energía eléctrica resulta una opción a valorar en profundidad. Los tipos de bomba de calor que existen son:

- Aire-Aire: El calor se toma del aire del exterior y se transfiere directamente al aire del local que debe calentarse.
- Agua-Aire: El sistema toma el calor del agua exterior (río, capa freática...) por medio de un circuito de agua para transferirlo al aire del local que debe calentarse.
- Aire-Agua: El calor se toma del aire y transfiere a un circuito de agua que abastece a suelos/techos radiantes/refrescantes, radiadores, ventiloconvectores o aerotermos. Una bomba de calor aerotérmica aire-agua puede generar agua caliente para:
 - Suelo radiante.
 - Radiadores a baja temperatura.

- Consumo doméstico de ACS.
- Agua-Agua: El sistema toma calor del agua exterior por medio de un circuito de agua para transferirlo a otro circuito de agua como en el caso Aire-Agua. Este tipo de bomba de calor es el que se utiliza generalmente en la energía geotérmica, explicada a continuación.

2.1.4 GEOTERMIA

La energía geotérmica es una de las fuentes de energía renovables menos conocidas, pero más eficientes. La geotermia es la energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra, energía almacenada en forma de calor en rocas suelos y aguas subterráneas cualquiera que sea su temperatura y profundidad. En su más amplio sentido, la energía geotérmica es la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

La temperatura es el principal factor que condiciona su forma de aprovechamiento. En altas temperaturas, superiores a 150 grados, permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica. La explotación se hace por medio de perforaciones según técnicas similares a las de la extracción del petróleo.



Ilustración 4. Geotermia en vivienda unifamiliar. <https://arquitectura-sostenible.es/la-geotermia-para-las-viviendas-unifamiliares-como-solucion-idonea-de-futuro/#:~:text=La%20Geotermia%20para%20las%20viviendas%20unifamiliares%20como%20soluci%C3%B3n%20id%C3%B3nea%20>

Para explotar el calor de debajo de la tierra en una vivienda unifamiliar según Arquitectura Sostenible [11] “es necesario instalar a cierta profundidad del terreno una red de tubos captadores por los que circulará un fluido refrigerante que captará el calor del terreno (entre 7° C Y 14° C). Mediante una bomba, se hará circular este fluido de tal modo que, o bien se elevará su temperatura hasta los 25° o 26° C para que caliente la vivienda en invierno, o bien se dejará como está, sobre los 14°C, para que la refresque en verano. Este pequeño esfuerzo de subir la temperatura unos 10° C o 12° C en invierno y de «trasladar el fresco» en verano se realiza mediante la utilización de un aparato de alta eficiencia energética (consume poca energía y produce mucha energía) llamado «bomba de calor».”

La clave de la eficiencia de la tecnología geotérmica reside en la bomba de calor. Este elemento funciona de la misma manera que en las instalaciones de aerotermia, obteniendo calor cuando se requiere (invierno) y cediéndolo cuando no se necesita (verano). Esta reversibilidad dota a la instalación de un gran potencial de aprovechamiento tanto en verano como en invierno, haciendo que la eficiencia sea muy elevada y que la inversión cuante con un periodo de retorno más corto.

2.1.5 MINIEÓLICA

La energía minieólica es una tecnología con un funcionamiento similar a la eólica tradicional en una escala mucho menor y con una potencia inferior a los 100kW. Este tipo de tecnología, cuyo uso no es frecuente, se suele utilizar en lugares aislados de la red en los que el viento alcanza altas velocidades de manera habitual. Según la legislación vigente, el área de barrido no puede superar los 200m². Las principales desventajas en el uso de la tecnología minieólica son la fuerte dependencia de la climatología, causando esta una gran variabilidad en la generación, y el ruido generado, el cual puede ser muy elevado si se trata de una turbina grande. Las principales ventajas de esta tecnología son:

- Instalación sencilla.
- Bajo impacto medioambiental.
- Trámites legales sencillos.

- Compatibilidad con otras tecnologías como la fotovoltaica.
- Generación de electricidad durante periodos nocturnos.
- Bajo mantenimiento.
- Durabilidad.

Existen dos principales tipos de aerogeneradores:

- De eje vertical: Usa un eje rotacional que se encuentra fijado al suelo o al tejado. Están diseñados para capturar el viento en todas las direcciones, lo cual los hace más interesantes en zonas donde la climatología es más impredecible.



Ilustración 5. Aerogeneradores domésticos de eje vertical.

- De eje horizontal: Son los más comunes. Normalmente cuentan con tres asas y, si la dirección del viento es relativamente estable, obtienen más energía que los de eje vertical.



Ilustración 6. Aerogenerador doméstico de eje horizontal

Los aerogeneradores domésticos pueden ser ubicados en el tejado de la vivienda para aprovechar la mayor velocidad del viento en altura. Sin embargo, en el caso de que el tamaño de la turbina sea muy grande y afecte al rendimiento estructural de la vivienda estos pueden ser ubicados aparte con una torre para elevarlos.

2.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

La energía, especialmente la energía eléctrica, es relativamente fácil de generar, transportar y consumir; sin embargo, presenta un gran problema a la hora de ser almacenada ya que todavía no se han desarrollado sistemas que permitan almacenarla de forma eficiente, sin ocupar mucho espacio y que no supongan un gran coste. Mejorar los sistemas de almacenamiento de energía es uno de los grandes retos ingenieriles del presente y futuro ya que resulta importantísimo para respaldar las energías renovables, cuya generación depende de las condiciones climatológicas y es intermitente.

A gran escala (GW), la energía se puede almacenar a través de bombeo hidroeléctrico, aumentando la energía potencial del agua, o con almacenamiento térmico con materiales que liberan la energía de manera controlada. A media escala (MW) se utilizan pilas, baterías, condensadores, superconductores y volantes de inercia.

Cuando se trata de almacenar energía a nivel doméstico y a pequeña escala (kW) surgen varios problemas como el tamaño de los sistemas, su rendimiento o el ciclo de vida

tan corto con el que cuentan. Los sistemas para almacenar energía a nivel doméstico más comunes y viables, que se tratarán en los siguientes apartados, son las baterías, las pilas de combustible de hidrógeno y los acumuladores de agua.

2.2.1 BATERÍAS

Las baterías son la forma de almacenamiento eléctrico más extendida y conocida. Se usan especialmente con instalaciones fotovoltaicas para poder ofrecer servicio durante las horas nocturnas. En este caso, la instalación se sobredimensiona para que durante el día exista un exceso de energía que es almacenado en estas baterías, que después es liberado durante la noche para satisfacer la demanda del hogar. La ventaja más evidente que presentan es la flexibilidad que otorga a las instalaciones y la autonomía e independencia de la red que generan en la vivienda. Las principales desventajas residen en el todavía escaso avance de la tecnología, el cual se espera que sea mucho mayor en un futuro inmediato. Entre estas desventajas se encuentran el tamaño elevado de las baterías y la vida útil de las mismas. El gran tamaño es un gran inconveniente ya que ocupan mucho espacio en la casa, hecho que no es de agrado para los usuarios, especialmente en viviendas de reducido tamaño. La corta vida útil de las baterías eleva significativamente el coste de mantenimiento al tener que ser reemplazarlas cada cierto tiempo. Además, al perder capacidad de almacenamiento, la instalación energética se vuelve menos fiable ya que puede provocar fallos de suministro en épocas de baja generación. Cuando se habla de baterías para almacenar energía, principalmente la generada por los paneles solares, hay que diferenciar entre cuatro tipos principales [12]:

- **Baterías AGM:** Se caracterizan por no requerir mantenimiento, por lo que se usan en instalaciones en el que el acceso a las baterías sea complicado o simplemente se intente reducir por motivos de coste y/o practicidad. Son más resistentes que los otros tipos a golpes, vibraciones, ácidos y temperaturas extremas.
- **Baterías Monoblock:** Son las más baratas y sencillas. Se utilizan en instalaciones pequeñas donde la capacidad de almacenamiento necesaria no es muy elevada. Sus principales desventajas es que requieren un mantenimiento

anual, deben estar instaladas en un lugar con ventilación y tienen un ciclo de vida muy corto.

- Baterías de ciclo profundo: Son similares a las baterías monoblock, pero con un uso orientado al uso diario debido a su mayor durabilidad y la capacidad de descargarse completamente sin afectar a su vida útil.
- Baterías de Litio: Son las más conocidas y las más versátiles ya que pesan poco, no ocupan un gran espacio y no emiten gases. Sin embargo, no siempre son las más adecuadas debido a su elevado precio. Actualmente se están investigando ampliamente para mejorar su rendimiento y reducir su costo.

2.2.2 ACUMULADOR DE AGUA

La principal función de un acumulador de agua es almacenar agua caliente para hacer frente a la variabilidad de la demanda de agua caliente sanitaria y calefacción. Para calentar el agua se utilizan recursos que son variables a lo largo del día y del año (calor del aire en la aerotermia, luz solar en los paneles térmicos... etc.) y para ello es preciso almacenar este calor en forma de agua caliente para después satisfacer la demanda en momentos en los que la generación de agua caliente no sea posible como, por ejemplo, de noche. Además, esta agua caliente almacenada se utiliza no solo para ofrecer ACS, sino también para calefacción. El tamaño del acumulador de agua necesario en un hogar autosuficiente dependerá de la demanda del hogar y de la cantidad de recursos energéticos de la ubicación, así como de la variabilidad de estos.

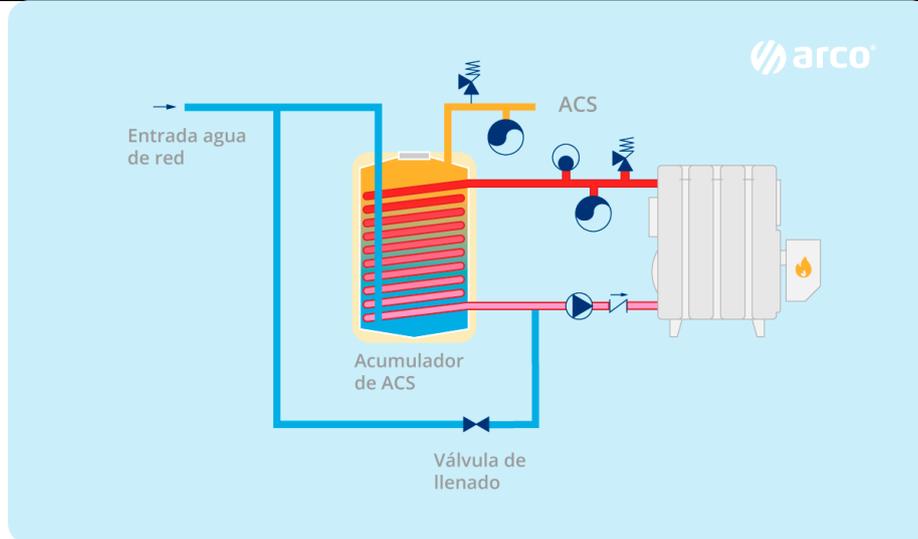


Ilustración 7. Funcionamiento de un acumulador de ACS. Imagen: arco

El acumulador se rellena con una entrada de agua fría de la red, que se realiza por la parte más baja, ya que el agua caliente se encuentra en las zonas más altas. Esta agua está en contacto con un circuito secundario cerrado, que es el encargado de calentar el agua por intercambio de calor. Este circuito secundario puede venir de diversas fuentes como una caldera, un circuito de aerotermia o un circuito solar térmico. El ACS se extrae de la parte alta del acumulador cuando es necesario utilizarla.

El funcionamiento de estos acumuladores es muy práctico ya que permite aprovechar el exceso de energía captada por las fuentes de generación renovables, especialmente de la energía solar térmica, almacenándolo en forma de agua caliente para satisfacer la demanda en otros momentos del día. Además, cuentan con un aislamiento térmico que permite almacenar el calor durante un tiempo prolongado.

Entre las principales desventajas se encuentra el gran tamaño de los acumuladores, problema que puede ser especialmente grave si el tamaño de la casa es reducido.

2.2.3 PILAS DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

Para entender cómo funciona una pila de combustible de hidrógeno, primero es necesario abordar cómo funciona una pila de combustible genérica. En una pila de

combustible se transforma la energía química en energía eléctrica con un combustible y un comburente, produciendo agua, electricidad y calor. En las pilas de combustible de hidrógeno el combustible empleado es el hidrógeno (H₂), que es el elemento más abundante en la naturaleza, aunque no se encuentre de forma libre y sea necesario el uso de fuentes de energía para su producción.

Según el Centro Nacional de Hidrógeno [13], las pilas de combustible de hidrógeno cuentan con varias partes:

- Electrodo: Ánodo, donde se reduce el H₂ en dos protones H⁺ y cátodo, donde reaccionan los protones H⁺ y O₂. Las reacciones que tienen lugar en cada uno de los electrodos son:
 - Reacción en el ánodo: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
 - Reacción en el cátodo: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
 - Reacción global: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$
- Electrolito: Separa los gases, permite el paso de iones H⁺ al cátodo y separa los e⁻.
- Placas bipolares: Separan las celdas, conducen los gases y evacúan H₂O.

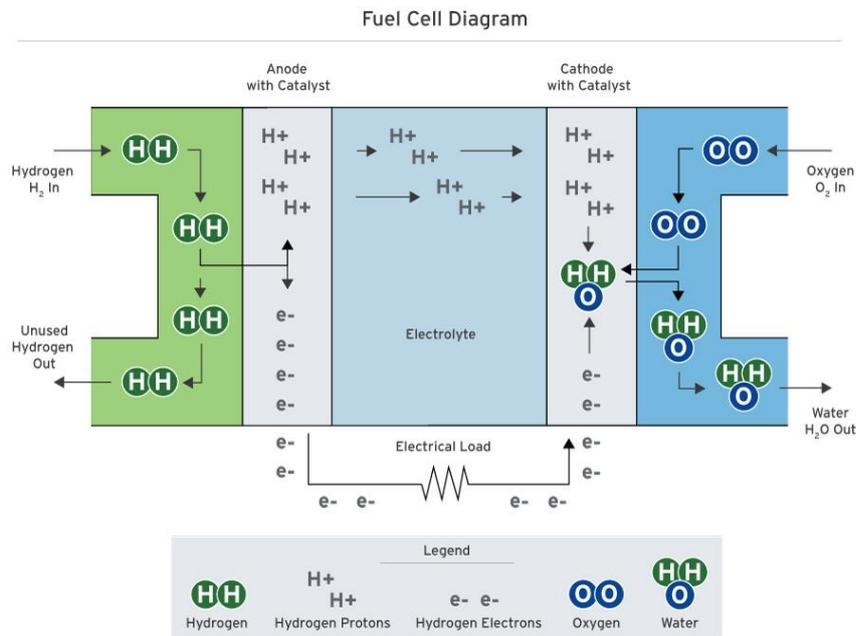


Ilustración 8. Diagrama de una pila de combustible de hidrógeno. Fuente: SoCalGas. Fuel Cell technology.

<https://www.socalgas.com/for-your-business/power-generation/fuel-cell-technology>

Como indica el Centro Nacional de Hidrógeno, “En el lado del ánodo, el hidrógeno que llega se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los electrones están forzados a viajar por un circuito externo (produciendo energía) ya que la membrana está aislada eléctricamente. En el catalizador del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones (conducidos a través del circuito externo) y protones para formar el agua. En este caso, el único residuo es vapor de agua o agua líquida.”

La clasificación de las pilas de combustible se realiza en función del electrolito utilizado, ya que esto determina las reacciones químicas que tienen lugar en la celda, las temperaturas de operación, el tipo de catalizador y el combustible requerido. Los electrolitos utilizados pueden ser membrana de polímero sólido, solución alcalina, ácido fosfórico, carbonatos fundidos, óxido sólido o membrana de polímero sólido.

Las principales aplicaciones de las pilas de hidrógeno son:

- Los vehículos eléctricos

- Aviación Ecológica
- Producción Eléctrica
- Generación Distribuida

La principal ventaja que presentan las pilas de combustible de hidrógeno son sus extremadamente bajas emisiones de carbono. Es por ello por lo que se asocia su implementación a un futuro sostenible y su uso ayuda a reducir la huella de carbono.

2.3 NET ZERO ENERGY BUILDINGS

Net Zero Energy Building ó “Edificio de Energía Neta Cero” en español es un concepto de edificio en el que la energía demandada se compensa con la energía que generan logrando un equilibrio o incluso generando más energía de la que consumen en total.

Esto se consigue diseñando los edificios para que sean muy eficientes energéticamente, ahorrando entre un 50% y un 70% más de energía que un edificio típico. En estos edificios de ultra rendimiento, la cantidad de energía utilizada puede ser completamente compensada por la energía renovable producida en el edificio o sus alrededores.

Cuando las condiciones no son adecuadas para la generación de energía, el edificio consumirá energía de la red eléctrica para satisfacer sus necesidades. Cuando las condiciones mejoran, los sistemas de energía renovable in situ cubren la energía del edificio y envían el exceso de energía de regreso a la red para compensar el saldo.

En el transcurso de un año, el edificio devuelve toda la energía que necesita. Cuando se aplica este concepto de energía cero a grupos de edificios, los beneficios se comparten y multiplican dentro de esa comunidad de energía cero.

Estos edificios también son: Más cómodos, más fiables, más asequibles de construir y operar y mejores para el medio ambiente. Si bien estos pueden parecer "edificios del futuro", constantemente surgen nuevas tecnologías que hacen que la energía cero sea cada

vez más fácil de lograr en la actualidad. De hecho, ya hay cientos de edificios de energía neta cero en los EE. UU en diferentes climas. Al ser ultra eficientes y devolver tanta energía como consumen, los edificios de energía cero jugará un papel importante en la creación de un futuro modelo urbanístico más sostenible.

2.4 EJEMPLOS DE PROYECTOS OPERATIVOS

Actualmente existen varios proyectos en el mundo de casas autosuficientes tanto en estado de prototipo como construidas. Sin embargo, la mayoría de estos proyectos consisten en diseños ecológicos con un especial enfoque en la utilización de materiales reciclados y arquitectura sostenible con sistemas de ahorro de energía en lugar del diseño energético de la vivienda.

2.4.1 LIFEHAUS PROJECT

Lifehaus Project es un proyecto de una vivienda autosuficiente en términos de energía, comida y agua inspirado por el trabajo de Michael Reynolds, el fundador de “Earthship Biotechture”, y llevado a cabo por el arquitecto Nizar Haddad.



Ilustración 9. Prototipo Lifehaus Project

El proyecto genera electricidad con recursos renovables como sol, agua, viento e incluso actividad humana. Para esta generación de electricidad se emplean los siguientes elementos captadores de energía:

- Hidroturbina de 1500 Vatios.
- Molinillo eólico de eje vertical, cuya ventaja reside en poder trabajar con vientos de bajas velocidades.
- Paneles fotovoltaicos de 365 Vatios.
- Bicicleta generadora de electricidad diseñada por Manoj Bharvaga.

Actualmente el proyecto se encuentra en estado de prototipo experimental y su ubicación será en Baskinta, El Líbano.

2.4.2 CASA MARTINA

Casa Martina se trata del primer hogar autosuficiente energéticamente en la Comunidad de Madrid. El proyecto fue llevado a cabo por la empresa Alternativa Energética, especializada en la realización de proyectos de sistemas de generación de electricidad con fuentes alternativas.



Ilustración 10. Casa Martina. Foto: El Mundo

Esta vivienda fue construida en 2013, siendo un proyecto pionero en la comunidad pese al estado no tan desarrollado de las tecnologías disponibles como el que podemos encontrar actualmente. Las bases del proyecto se centraron en:

-
- Construir la casa con un aislamiento perfecto y una orientación al sur
 - Aprovechar la energía natural con las fuentes renovables fotovoltaica, solar térmica y geotérmica.
 - Recirculación del aire con un pozo canadiense con el fin de eliminar la necesidad de abrir las ventanas.
 - Una red de recogida y tratamiento de aguas pluviales para suministrar los depósitos.

3. EMPLAZAMIENTO

3.1 EMPLAZAMIENTO BASE

Como emplazamiento base se ha elegido Majadahonda por las siguientes razones:

- Es una zona en la que predominan las viviendas unifamiliares.
- Se encuentra en plena expansión y el diseño podría implementarse con inmediatez.
- Es un punto céntrico de España y con facilidad de obtención de recursos (paneles, bombas de calor... etc.)
- No tiene valores extremos de variables meteorológicas como irradiación, viento o lluvia.
- Los permisos urbanísticos son más sencillos de tramitar que en una gran urbe con alta densidad poblacional como puede ser el caso de Madrid.

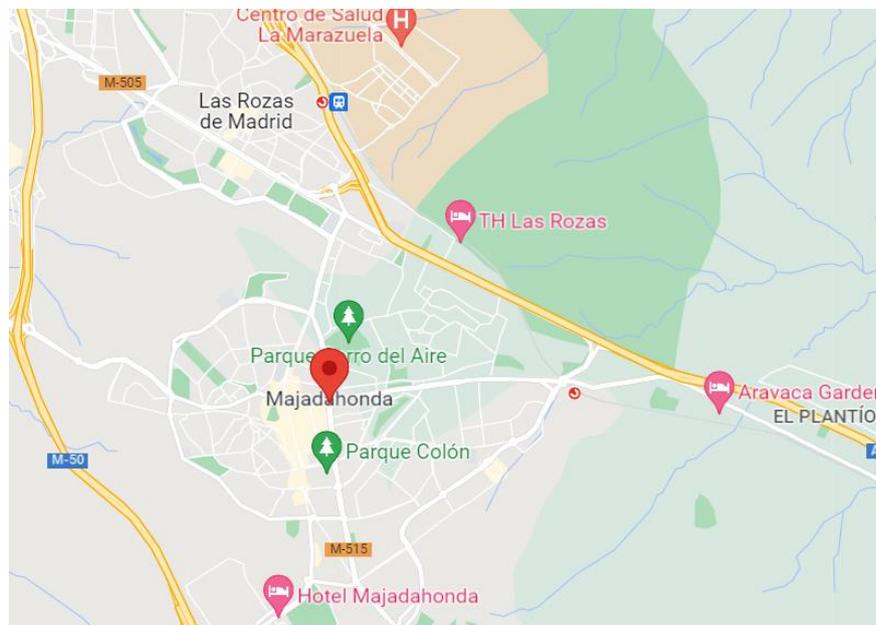


Ilustración 11. Mapa de Majadahonda

El territorio del municipio de Majadahonda cuenta con los siguientes datos geográficos obtenidos de Ayuntamiento-España:

- Superficie: 38,47 km²
- Altitud: 744 metros
- Latitud: 40° 28' 22" Norte
- Longitud: 3° 52' 20" Oeste
- Huso horario: URC +1:00 (Europa/Madrid)

3.1.1 ZONA CLIMÁTICA BASE

Para determinar la zona climática en la que se encuentra el emplazamiento elegido es necesario acudir al documento básico HE ahorro de energía.

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (m)																												
	≤ 50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500	501-550	551-600	601-650	651-700	701-750	751-800	801-850	851-900	901-950	951-1000	1001-1050	1051-1100	1101-1150	1151-1200	1201-1250	1251-1300	≥ 1301		
Albacete																													
Alicante/Alacant																													
Almería																													
Araba/Álava																													
Asturias																													
Ávila																													
Badajoz																													
Baleares, Illes																													
Barcelona																													
Bizkaia																													
Burgos																													
Cáceres																													
Cádiz																													
Cantabria																													
Castellón/Castelló																													
Ceuta																													
Ciudad Real																													
Córdoba																													
Coruña, A																													
Cuenca																													
Gipuzkoa																													
Girona																													
Granada																													
Guadalajara																													
Huelva																													
Huesca																													
Jaén																													
León																													
Lleida																													
Lugo																													
Madrid																													
Málaga																													
Melilla																													
Murcia																													
Navarra																													
Ourense																													
Palencia																													
Palmas, Las																													
Pontevedra																													
Rioja, La																													
Salamanca																													
Santa Cruz de Tenerife																													
Segovia																													
Sevilla																													
Soria																													
Tarragona																													
Teruel																													
Toledo																													
Valencia/València																													
Valladolid																													
Zamora																													
Zaragoza																													
Provincia	≤ 50	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	401-450	451-500	501-550	551-600	601-650	651-700	701-750	751-800	801-850	851-900	901-950	951-1000	1001-1050	1051-1100	1101-1150	1151-1200	1201-1250	1251-1300	≥ 1301		

Ilustración 12. Zonas climáticas en función de la provincia y la altitud.

<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>

Para una altitud de 744 metros, la zona climática correspondiente es la zona D3.

3.2 *CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS*

Tras el tratamiento de los datos climatológicos de la zona climática D3 para un año entero se han obtenido los siguientes valores de referencia para el emplazamiento.

Temperatura seca media(°C)	13,63
Velocidad media viento (m/s)	2,85
Dirección media viento (° Respecto Norte)	195,28
Irradiancia solar directa horizontal media (W/m²)	113,43

Tabla 2. Valores climatológicos de referencia Zona D3

En cuanto a la irradiación, se ha analizado mensualmente tanto la irradiación directa horizontal como la irradiación difusa.

	Irradiación solar directa (W/m²)	Irradiación solar difusa (W/m²)	Total (W/m²)
Enero	26.103	27.995	54.098
Febrero	40.647	33.211	73.858
Marzo	67.702	48.127	115.829
Abril	84.382	58.853	143.235
Mayo	114.990	66.726	181.716
Junio	140.952	62.259	203.211
Julio	159.917	60.013	219.930
Agosto	142.854	55.295	198.149
Septiembre	101.412	48.974	150.386
Octubre	595.78	40.152	99.730
Noviembre	332.93	28.391	61.684
Diciembre	217.87	25.159	46.946

Tabla 3. Irradiación en Zona Climática D3

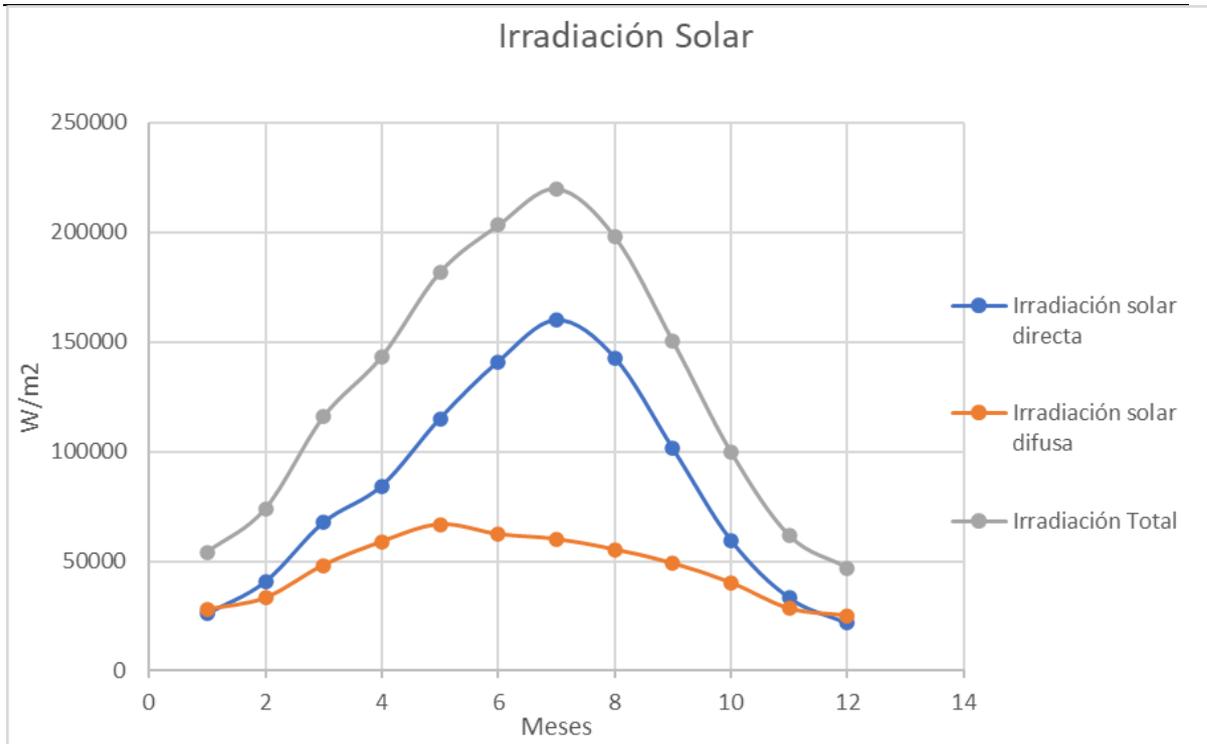


Ilustración 13. Irradiación solar en Zona Climática D3 a lo largo de un año natural

4. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

4.1 VIVIENDA TIPO

La casa objeto a estudiar es una vivienda unifamiliar, habitada por cuatro individuos: dos adultos y dos niños. La familia utiliza un coche eléctrico que recarga en casa, cuyo modelo y especificaciones se detallan más adelante.



Ilustración 14. Plano de la casa con tres habitaciones, dos baños y un garaje.

La vivienda cuenta con una habitación grande, dos habitaciones más pequeñas, un salón al cual se puede acceder directamente desde la calle o desde el garaje, una cocina y

dos baños. Se ha optado por un diseño cuadrado y sencillo sin armarios empotrados para que sea de fácil implementación en otros emplazamientos. Las dimensiones de la vivienda se detallan en la Tabla 4.

Estancia	Ancho X (m)	Largo Y (m)	Superficie (m²)
Habitación 1	5,26	2,50	13,15
Habitación 2	5,26	2,44	12,83
Habitación 3	5,01	5,00	25,05
Salón	7,76	15,53	54,32
Cocina	3,60	5,02	18,07
Baño 1	3,10	2,50	7,75
Baño 2	3,10	2,44	7,56
Garaje	5,26	5,02	26,41
Total			165,14
Total sin garaje			138,74
Superficie por persona			34,68

Tabla 4. Dimensiones de la vivienda

La superficie total de la vivienda resulta en un total de 165,14 m² ó 138,73 m² sin tener en cuenta el garaje, que no será climatizado. Esto significa que la superficie por persona, teniendo en cuenta que hay 4 residentes, es de 34,68m². La altura de diseño es de 3 metros.

Como la energía fotovoltaica juega un papel fundamental en el abastecimiento eléctrico de la vivienda, para una mayor eficiencia a lo largo del año se opta por una orientación sur del tejado. La inclinación del tejado quedará definida en el proceso de optimización de los paneles fotovoltaicos.

4.2 COCHE ELÉCTRICO

Como coche eléctrico utilizado se ha escogido el TESLA Model 3 (modelo “Gran Autonomía” de 2022) por ser el coche eléctrico más vendido en España en 2021 y ser un referente en la industria a nivel global.



Ilustración 15. TESLA Model 3. Imagen: TESLA

Entre las características principales del TESLA Model 3 cabe destacar su autonomía de 602km, siendo una de las más elevadas del mercado, y una aceleración de 0 a 100 km/h en 4,4 segundos.

La batería tiene una capacidad de 75 kWh y puede ser cargada con los excedentes generados por la potencial energía fotovoltaica a implementar en la vivienda. El consumo, por capacidad de batería y autonomía se estima en 12,45 kWh/100 km. Es importante la alta capacidad de la batería ya que esta se puede utilizar como sistema de almacenamiento de electricidad cuando la instalación renovable esté generando excedentes.

El uso que se estima se le puede dar al coche es el uso cotidiano de ir al supermercado o hacer un viaje a Madrid ocasional, contando con un viaje más largo esporádicamente. Por este motivo se ha estimado el uso en 30 kilómetros diarios de media.

5. DEMANDA ENERGÉTICA

5.1 DEMANDA EQUIPOS ELÉCTRICOS

Para el cálculo de la demanda eléctrica se han elegido equipos con alta eficiencia energética, se ha estimado su uso y la energía total que consumen al año. El detalle de los equipos se desglosa en la Tabla 5. Demanda eléctrica de la vivienda a continuación.

Equipo	Marca/módulo	Cantidad	Potencia nominal	Uso estimado	Energía total	Detalles
Lavadora	LG F4WV7509S2W	1	-	200 lavados / año	100 kWh/año	Calificación energética A. Consumo de 50kWh/100 lavados
Secadora	LG RC80U2AV4D	1	-	100 secados/año	147 kWh/año	Calificación energética A+++ . 1,47 KWh por secado.
Horno	BOSCH HBG675BS1	1	3600W	150 ciclos/año	130,5 kWh/año	Calificación energética A+. Consumo de energía por ciclo convencional 0,87 kWh/ciclo
Placa Inducción	BOSCH PXX875D67E	1	3700W	-	61,8 kWh/año	Calificación energética B. Cuenta con extractor incorporado.
Microondas	LG MJEN2863G	1	900W	10 minutos/día	54,750 kWh/año	Horno microondas convección 4 en 1 (Horno, microondas, grill y multifunción)
Frigorífico	LG GBB92STBAP	1	-	Constante todo el año	110kWh/año	Calificación energética A
Lavavajillas	LG DF455HSS	1	-	300 ciclos/año	225 kWh/año	Calificación energética C. Consumo energético 75 kWh/100 ciclos
Coche eléctrico	TESLA Model 3	1	-	30 km/día	1363 kWh/año	Consumo de 12,45 kWh/100 km
Televisión	LG OLED55G16LA	2	107	3 horas/día	117,165 kWh/año	Calificación energética G.
Ordenador PC	HP 24-cb0009ns	1	200W	8 horas/día. 300 días al año.	480 kWh/año	Ordenador de sobremesa utilizado principalmente para trabajar
Pequeños electrodomésticos (secador, calentador de agua)	-	6	-	-	150 kWh/año	
Equipo de música	LG CL98	1	3500W	60 horas/año	120 kWh/año	Uso estándar medio estimado en 2000W.
Carga de dispositivos electrónicos	-	-	15W	4 cargas de 90 minutos diarias	32,850 kWh	1 carga diaria de 90 mins por habitante todos los días del año
Iluminación	Bombilla LED	48	14W	-	40 kWh/año	Uso de bombillas LED de bajo consumo. Se opta por un consumo bajo debido a la buena iluminación de la vivienda

Tabla 5. Demanda eléctrica de la vivienda

El total resultante de la demanda eléctrica de los equipos sin contar los posibles equipos de climatización es de 3132 kWh/año. Dado que estos equipos eléctricos se usan todo el año con uniformidad ya que su uso no depende de las condiciones climatológicas como en el caso de los equipos de climatización, se ha dividido la energía total entre los 12 meses del año resultando en una demanda eléctrica de equipos de 261 kWh mensuales.

5.2 DEMANDA DE ACS

Para el cálculo de agua caliente sanitaria se ha tomado como referencia el documento básico de Ahorro de Energía DB HE 2019 del CTE. Según este documento la demanda de referencia de ACS para uso residencial privado se obtiene a partir de unas necesidades de 28 L/día*persona a una temperatura de 60°C. Dado el uso de acumuladores de agua, la demanda de ACS se considera constante a lo largo del día y por tanto el cálculo se realiza mensualmente.

Para calcular la demanda en L/mes se aplica la fórmula siguiente:

$$D_i = 4 \text{ personas} * 28 \frac{L}{\text{persona} * \text{día}} * N_i$$

Donde:

- D_i : Demanda de agua en el mes i (L).
- N_i : Número de días en el mes i .

La demanda en litros obtenida para cada mes se representa en la Tabla 6 a continuación:

Mes	Demanda (L)
Enero	3.472
Febrero	3.136
Marzo	3.472
Abril	3.360
Mayo	3.472

Junio	3.360
Julio	3.472
Agosto	3.472
Septiembre	3.360
Octubre	3.472
Noviembre	3.360
Diciembre	3.472

Tabla 6. Demanda de ACS mensual

Para calcular la cantidad de energía necesaria para obtener la temperatura de referencia de 60° C se utiliza la fórmula siguiente:

$$E_i = V_i * \rho_a * C_a * (60 - T_r)$$

Donde:

- E_i : Energía necesaria para calentar agua en el mes i (kWh).
- V_i : Volumen de demanda de ACS en el mes i (L).
- ρ_a : Densidad del agua (kg/L).
- C_a : Calor específico del agua (kWh/kg*°C).
- T_r : Temperatura diaria media mensual del agua fría de red (°C).
- T_i : Temperatura media del agua fría en el mes i .

Propiedad	Valor
ρ_a	0,98 kg/L
C_a	0,0016 kWh / (kg*°C)

Tabla 7. Propiedades del agua

Para ello es necesario obtener la temperatura diaria media mensual de agua fría, las cuales se encuentran en el Anejo G del documento básico de Ahorro de Energía DB HE 2019 del CTE.

Mes	Temperatura agua de red (°C)
Enero	8
Febrero	8
Marzo	10
Abril	12
Mayo	14
Junio	17
Julio	20
Agosto	19
Septiembre	17
Octubre	13
Noviembre	10
Diciembre	8

Tabla 8. Temperatura diaria media mensual del agua fría de red para Madrid. Fuente: DB-HE-2019

Con estos datos y mediante el uso de una hoja Excel se obtiene la demanda energética para el calentamiento del ACS.

Mes	Demanda (L)	Tr (°C)	E (kWh)
Enero	3.472	8	283,09
Febrero	3.136	8	255,70
Marzo	3.472	10	272,20
Abril	3.360	12	252,89
Mayo	3.472	14	250,43
Junio	3.360	17	226,54
Julio	3.472	20	217,76
Agosto	3.472	19	223,21
Septiembre	3.360	17	226,54
Octubre	3.472	13	255,87
Noviembre	3.360	10	263,42
Diciembre	3.472	8	283,09

Tabla 9. Demanda energética mensual para calentamiento de ACS

5.3 DEMANDA TÉRMICA

5.3.1 INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA

Para el cálculo de la demanda térmica de la vivienda se ha empleado el programa CLIMA de Acetyr. Este programa permite seleccionar la normativa de construcción existente (CTE) y la zona climática en cuestión (D3). Con esta selección, el programa crea una tipología de muros constructivos que se asignan por defecto a los cerramientos que se crean posteriormente en él. Cabe resaltar que para el cálculo de la demanda térmica en este programa no se ha incluido el garaje ya que este no va a estar climatizado.

En cuanto al establecimiento de las condiciones exteriores, de entre las posibles opciones de la base de datos del programa se ha optado por los datos de la estación meteorológica de Robledo de Chavela por su proximidad y semejanza en altitud.

Ciudad	Robledo de Chavela (3338)
Altitud[m]	790,00
Latitud[°]	40,43
Temperatura del terreno [°C]	5,00
Temperatura exterior máxima [°C]	33,80
Humedad relativa coincidente	33,72
Temperatura exterior mínima[°C]	-1,40
Humedad relativa coincidente calefacción	74,60
Oscilación media anual[°C]	37,80
Oscilación media diaria[°C]	15,30
Oscilación media diaria invierno[°C]	0,50

Tabla 10. Condiciones exteriores de cálculo para cargas térmicas de la base de datos del programa CLIMA

Tras establecer las condiciones exteriores, es necesario especificar el uso del edificio. En este caso es un uso residencial en el que la actividad humana es de un trabajo ligero sentado. La vivienda cuenta con 34,7 m² por persona y se ilumina con luces led con una potencia media de 4 W/m².

Tipo	Local	Superficie [m ²]	Orientación	Composición	Transmitancia [W/ m ² K]	Peso [Kg/m ²]
Muro_Exterior	Habitacion 1	15,78	Norte	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Exterior	Habitacion 1	7,50	Oeste	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Interior	Habitacion 1	15,78	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Habitacion 2	15,78	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Habitacion 1	7,50	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Salon	7,50	-	Muro_int	0,99	163,65
Suelo_Terreno	Habitacion 1	13,18	-	FIT Ref. Z_D	0,49	560,63
Muro_Exterior	Habitacion 2	7,32	Oeste	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Otro	Habitacion 2	15,78	-	MuroInteriorRef	0,58	164,40
Muro_Interior	Habitacion 2	7,32	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Salon	7,32	-	Muro_int	0,99	163,65
Suelo_Exterior	Habitacion 2	12,82	Horizontal	FIE Ref. Z_D	0,48	560,63
Muro_Exterior	Habitacion 3	15,03	Norte	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Exterior	Habitacion 3	15,00	Este	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Interior	Habitacion 3	10,80	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Cocina	10,80	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Habitacion 3	3,96	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Salon	3,96	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Habitacion 3	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Baño 1	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Habitacion 3	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Baño 2	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Suelo_Exterior	Habitacion 3	25,00	Horizontal	FIE Ref. Z_D	0,48	560,63
Muro_Exterior	Salon	9,33	Norte	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Interior	Salon	7,50	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Baño 1	7,50	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Salon	7,32	-	Muro_int	0,99	163,65

Muro_Interior	Baño 2	7,32	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Salon	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Baño 2	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Salon	15,06	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Cocina	15,06	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Exterior	Salon	23,28	Sur	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Otro	Salon	15,06	-	MuroInteriorRef	0,58	164,40
Suelo_Exterior	Salon	54,32	Horiz ontal	FIE Ref. Z_D	0,48	560,63
Muro_Exterior	Cocina	15,06	Este	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Muro_Exterior	Cocina	10,80	Sur	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Suelo_Exterior	Cocina	18,06	Horiz ontal	FIE Ref. Z_D	0,48	560,63
Muro_Interior	Baño 1	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Interior	Baño 2	9,30	-	Muro_int	0,99	163,65
Muro_Exterior	Baño 1	9,30	Norte	MEI Ref. Z_D	0,66	186,47
Suelo_Exterior	Baño 1	7,73	Horiz ontal	FIE Ref. Z_D	0,48	560,63
Suelo_Exterior	Baño 2	7,56	Horiz ontal	FIE Ref. Z_D	0,48	560,63

Tabla 11. Descripción de los cerramientos opacos de la envolvente térmica

5.3.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA

5.3.2.1 Resultados de carga máxima térmica en refrigeración

En el caso de la refrigeración, la fecha de máxima carga es en Julio en la hora 20 para la cual el máximo total de la potencia necesaria es de 3,06 kW.

Elemento	Fecha máximo	Potencia total [kW]	Potencia sensible [kW]	Ventilación [m ³ /hora]	Potencia total climatizador [kW]	Potencia sensible climatizador [kW]
Edificio	Hora: 20; Mes: Julio	3,06	2,77	79,94	0,28	0,21

Climatizador: Zona ventilacion	Hora: 13; Mes: Agosto	-	-	79,94	0,28	0,21
Zona demanda	Hora: 20; Mes: Julio	3,06	2,77	79,94	0,28	0,21
Habitacion 1	Hora: 20; Mes: Julio	0,47	0,40	18,00	0,06	0,05
Habitacion 2	Hora: 21; Mes: Julio	0,36	0,30	18,00	0,06	0,05
Habitacion 3	Hora: 20; Mes: Julio	0,76	0,63	36,00	0,13	0,09
Salon	Hora: 21; Mes: Agosto	0,82	0,82	0,00	0,00	0,00
Cocina	Hora: 20; Mes: Agosto	0,38	0,38	0,00	0,00	0,00
Baño 1	Hora: 21; Mes: Julio	0,17	0,16	4,02	0,01	0,01
Baño 2	Hora: 22; Mes: Julio	0,12	0,11	3,92	0,01	0,01

Tabla 12. Cargas térmicas en refrigeración

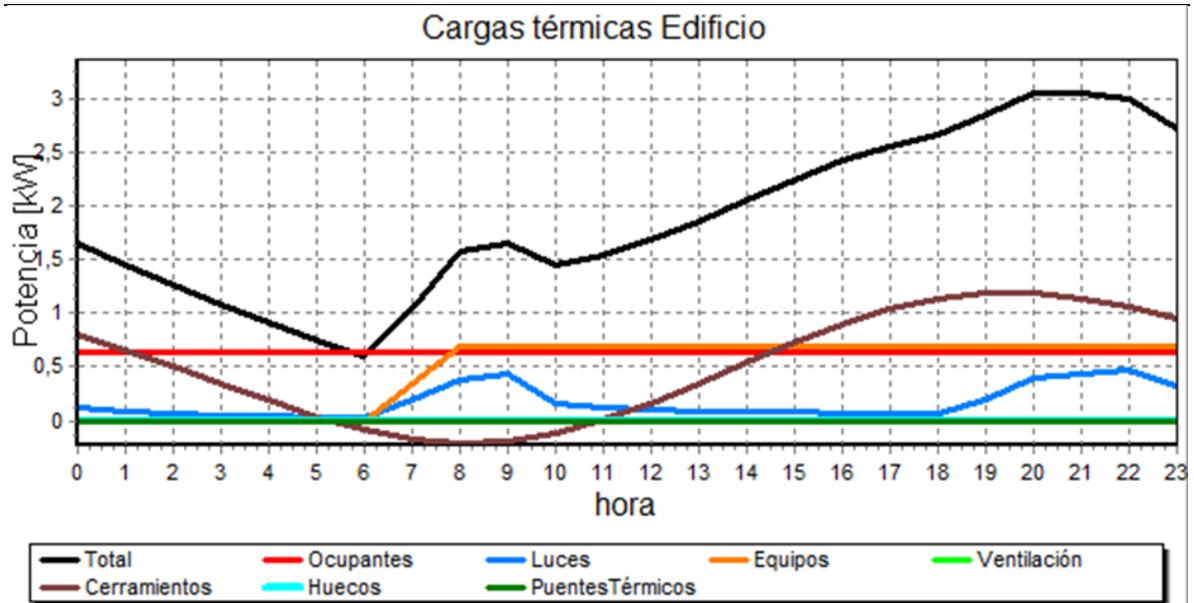


Ilustración 16. Cargas térmicas del edificio en Julio, hora 20

Los valores exactos de las distintas cargas se recogen en la Tabla 13 a continuación.

	Total	Sensible
Total Cargas [kW]	3,06	2,77
Ratio [W/m²]	22,09	20,00
Ocupantes[kW]	0,64	0,36
Luces[kW]	0,39	0,39
Equipos[kW]	0,69	0,69
Ventilación[kW]	0,00	0,00
Cerramientos[kW]	1,19	1,19
Huecos[kW]	0,00	0,00
Puentes térmicos[kW]	0,00	0,00
Mayoración[kW]	0,15	0,13

Tabla 13. Valores de las cargas térmicas del edificio en Julio, hora 20

5.3.2.2 Resultados de carga máxima térmica en calefacción

En el caso de la calefacción, la fecha de máxima carga es en febrero en la hora 10 para la cual el máximo total de la potencia necesaria es de 3,3 kW.

Elemento	Fecha máximo	Potencia total [kW]	Potencia sensible [kW]	Ventilación [m ³ /hora]	Potencia total climatizador [kW]	Potencia sensible climatizador [kW]
Edificio	Hora: 10; Mes: Febrero	-3,30	-3,30	79,94	-0,85	-0,59
Climatizador: Zona_ventilacion	Hora: 5; Mes: Febrero	-	-	79,94	-0,85	-0,59
Zona_demanda	Hora: 10; Mes: Febrero	-3,30	-3,30	79,94	-0,85	-0,59
Habitacion 1	Hora: 10; Mes: Febrero	-0,51	-0,51	18,00	-0,19	-0,13
Habitacion 2	Hora: 10; Mes: Febrero	-0,23	-0,23	18,00	-0,19	-0,13
Habitacion 3	Hora: 10; Mes: Febrero	-0,69	-0,69	36,00	-0,38	-0,26
Salon	Hora: 10; Mes: Febrero	-1,02	-1,02	0,00	-0,00	-0,00
Cocina	Hora: 10; Mes: Febrero	-0,56	-0,56	0,00	-0,00	-0,00
Baño 1	Hora: 10; Mes: Febrero	-0,21	-0,21	4,02	-0,04	-0,03
Baño 2	Hora: 12; Mes: Febrero	-0,07	-0,07	3,92	-0,04	-0,03

Tabla 14. Cargas térmicas en calefacción

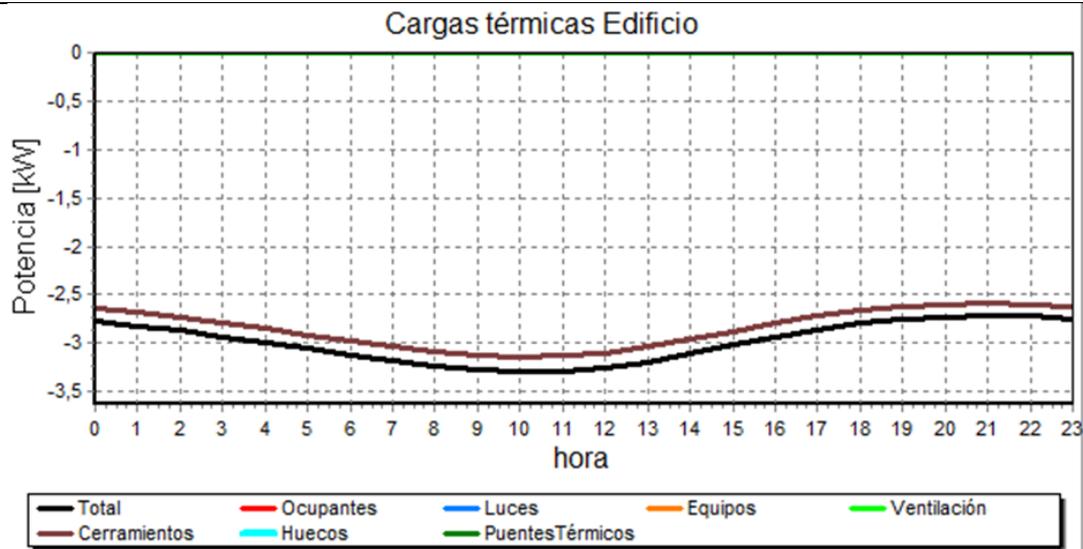


Ilustración 17. Cargas térmicas del edificio en febrero, hora 10

	Total	Sensible
Total Cargas [kW]	-3,30	-3,30
Ratio [W/m²]	-23,76	-23,76
Ocupantes[kW]	0,00	0,00
Luces[kW]	0,00	0,00
Equipos[kW]	0,00	0,00
Ventilación[kW]	0,00	0,00
Cerramientos[kW]	-3,14	-3,14
Huecos[kW]	0,00	0,00
Puentes térmicos[kW]	0,00	0,00
Mayoración[kW]	-0,16	-0,16

Tabla 15. Valores de las cargas térmicas del edificio en febrero, hora 10

5.3.2.3 Resultados de demanda

La demanda total del edificio en refrigeración es de 1684,32 kWh mientras que el ratio de demanda total del edificio en refrigeración es de 12 kWh/m².

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Edificio	0	1	2	1	13	248	636	578	204	1	1	0
Climatizador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona_demanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Habitacion 1	0	0	4	3	5	65	141	126	49	3	1	0
Habitacion 2	14	8	4	0	2	38	65	61	33	0	4	17
Habitacion 3	10	14	14	10	8	96	182	165	72	2	20	8
Salon	0	0	0	0	0	36	165	156	38	0	0	0
Cocina	0	0	0	0	0	13	69	60	12	0	0	0
Baño 1	0	1	1	0	0	0	15	9	0	0	1	0
Baño 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 16. Demanda mensual del edificio en refrigeración [kWh]

Demanda total del edificio en calefacción: 2553,99 kWh

Ratio de demanda total del edificio en calefacción: 18 kWh/m²

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Edificio	614	434	305	183	25	0	0	0	0	61	341	590
Climatizador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona_demanda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Habitacion 1	126	83	45	15	0	0	0	0	0	4	56	117

Habitacion 2	11	11	5	0	0	0	0	0	0	0	9	9
Habitacion 3	68	42	26	11	0	0	0	0	0	4	27	66
Salon	227	169	135	94	9	0	0	0	0	24	146	227
Cocina	174	127	95	59	15	0	0	0	0	30	108	165
Baño 1	34	23	21	16	2	0	0	0	0	4	19	32
Baño 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 17. Demanda mensual del edificio en calefacción [kWh]

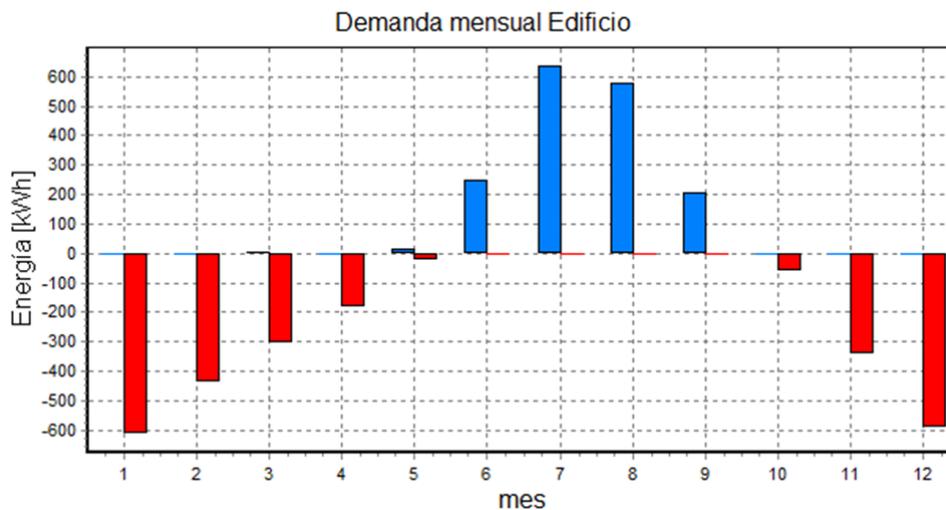


Ilustración 18. Demanda mensual de la vivienda

5.4 RESUMEN DEMANDA ENERGÉTICA

Para resumir y representar la demanda energética de la vivienda se ha elaborado la Tabla 18. Mientras que la demanda de los equipos eléctricos es constante a lo largo del año, la demanda de ACS varía ligeramente y las demandas de refrigeración y calefacción tienen una gran variabilidad. El mes en el que más energía se demanda es enero y esto se debe a la necesidad de calefactar la casa y la duración del mes, que cuenta con 31 días. El mes en el que menos se demanda es Mayo, llegando a más de tres veces menos energía

necesaria que en Enero. La razón de esto es la coincidencia entre las temperaturas de mayo y las condiciones de temperatura interior de la vivienda, lo que hace que se requiera un muy bajo gasto en refrigeración y calefacción.

Mes	Demanda Equipos Eléctricos [kWh]	Demanda de ACS [kWh]	Demanda Refrigeración [kWh]	Demanda Calefacción [kWh]
Enero	261	283,09	24,00	1254,00
Febrero	261	255,70	24,00	889,00
Marzo	261	272,20	25,00	632,00
Abril	261	252,89	14,00	378,00
Mayo	261	250,43	28,00	51,00
Junio	261	226,54	496,00	0,00
Julio	261	217,76	1273,00	0,00
Agosto	261	223,21	1155,00	0,00
Septiembre	261	226,54	408,00	0,00
Octubre	261	255,87	6,00	127,00
Noviembre	261	263,42	27,00	706,00
Diciembre	261	283,09	25,00	1206,00

Tabla 18. Resumen de la demanda energética de la vivienda

6. POSIBLES SOLUCIONES

En este capítulo se presentan las distintas combinaciones de energías renovables para satisfacer el abastecimiento energético de la vivienda. Las soluciones planteadas son:

- Aerotermia y solar fotovoltaica.
- Geotermia y solar fotovoltaica.
- Aerotermia, solar térmica y solar fotovoltaica.

La tecnología minieólica se ha descartado por su alto coste y baja eficiencia en comparación con la energía solar fotovoltaica, la cual está muy desarrollada en el ámbito del uso doméstico. Además, la variabilidad del recurso eólico castigaría a la solución con una alta incertidumbre, la cual es especialmente indeseable estando desconectados de la red.

6.1 AEROTERMIA Y SOLAR FOTOVOLTAICA

En este caso la aerotermia se utiliza para climatización y calentamiento de agua caliente sanitaria y la solar fotovoltaica para el abastecimiento eléctrico. Para ello es necesario elegir un equipo de aerotermia que funcione tanto para calentamiento de agua sanitaria como para climatización.

6.1.1 ELECCIÓN EQUIPO AEROTERMIA

Es necesario que el equipo tenga una capacidad de refrigeración mayor que la demanda pico, que en este caso es la hora 20 de Julio con 3,06 kW y una capacidad de calefacción mayor que la demanda pico, que se obtiene la hora 10 de febrero con 3,3 kW.

La marca elegida para los consumos de aerotermia es Elnur Gabarrón por ser una empresa española con muchos años en el mercado, una alta fiabilidad, unos precios competitivos y una gama de productos que ofrece tanto equipos de aerotermia para

climatización, como equipos para climatización y calentamiento de agua sanitaria. Además, la marca cuenta con depósitos para el almacenamiento de ACS.

De entre los modelos disponibles se ha elegido el THERMIRA MONOBLOC 6M, el más pequeño, ya que este cuenta con una capacidad calorífica de 6,35 y 6,3 kW en suelo radiante y radiadores respectivamente y una capacidad frigorífica de 6,5 y 7 kW, lo cual satisface con holgura las necesidades del hogar.

Las características más relevantes de la unidad exterior del equipo se encuentran detalladas en la Tabla 19.

Características	Valor
Capacidad calorífica suelo radiante	6.35 kW
Consumo eléctrico suelo radiante	1.28 kW
COP	4.95
Capacidad frigorífica suelo radiante	6.5 kW
Consumo eléctrico suelo radiante	1.35 kW
EER	4.8
Capacidad calorífica fancoil o radiadores	6.3 kW
Consumo eléctrico fancoil o radiadores	1.7 kW
COP	3.7
Capacidad frigorífica fancoil o radiadores	7 kW
Consumo eléctrico fancoil o radiadores	2.33 kW
EER	3
Clase de eficiencia energética 55°C	A++
Clase de eficiencia energética 35°C	A+++
Dimensiones	130x79x43 cm
Peso neto	96 kg

Tabla 19. THERMIRA MONOBLOC 8M



Ilustración 19. Equipo de aeroterminia THERMIRA MONOBLOC 8M.

En cuanto al depósito de ACS necesario para almacenar agua caliente sanitaria durante las horas en las que la irradiación es alta y por tanto los paneles fotovoltaicos pueden suministrar electricidad excedente al equipo de aeroterminia para calentar agua se ha decidido utilizar el interacumulador MTG-201 Thermira de la gama del fabricante del equipo de aeroterminia. De esta forma, las interconexiones entre ambos equipos son más sencillas y eficientes. Además, el depósito cuenta con una capacidad de 200L, lo cual satisface con holgura las necesidades de la vivienda.



Ilustración 20. Interacumulador MTG-201 Thermira

El interacumulador está fabricado en acero inoxidable F18 y está preparado para resistir la acción combinada del agua sanitaria a 60°C y del cloro disuelto en la misma. Las características técnicas del equipo se detallan en la Tabla 20.

Característica	Valor
Capacidad	200 L
Resistencia de titanio	3000 W
Superficie de intercambio	2,2 m ²
Tensión	230 V
Frecuencia	50-60 Hz
Diámetro	560 mm
Altura	1610 mm
Peso	71 kg

Tabla 20. Características técnicas Interacumulador MTG-201 Thermira

6.1.2 CÁLCULO GASTO ELÉCTRICO EQUIPO AEROTERMIA

Para el cálculo del gasto eléctrico del equipo de aerotermia se utilizan el COP y el EER del mismo. El COP se obtiene como la división entre la capacidad calorífica y el consumo eléctrico, mientras que el EER se obtiene como la división entre la capacidad frigorífica y el consumo eléctrico. Ambos coeficientes miden la eficiencia del equipo.

La energía eléctrica consumida vendrá definida por la Ecuación 1 y la Ecuación 2.

$$\text{Energía Eléctrica Consumida en Calefacción} = \frac{\text{Demanda calorífica}}{\text{COP}}$$

Ecuación 1. Energía Eléctrica Consumida en Calefacción por Equipo de Aerotermia

$$\text{Energía Eléctrica Consumida en Refrigeración} = \frac{\text{Demanda refrigeración}}{\text{EER}}$$

Ecuación 2. Energía Eléctrica Consumida en Calefacción por Equipo de Aerotermia

Para el uso de fancoil o radiadores el equipo utilizado cuenta con un COP de 3,7 y un EER de 3. Sumando la Energía eléctrica consumida en calefacción con la consumida en refrigeración se obtiene el gasto total de los equipos de aerotermia.

MES	EER Refrigeración	COP Calefacción	Demanda Refrigeración [kWh]	Demanda Calefacción [kWh]	Total [kWh]
Enero	3,00	3,70	24,00	1.254,00	346,92
Febrero	3,00	3,70	24,00	889,00	248,27
Marzo	3,00	3,70	25,00	632,00	179,14
Abril	3,00	3,70	14,00	378,00	106,83
Mayo	3,00	3,70	28,00	51,00	23,12
Junio	3,00	3,70	496,00	0,00	165,33
Julio	3,00	3,70	1.273,00	0,00	424,33
Agosto	3,00	3,70	1.155,00	0,00	385,00
Septiembre	3,00	3,70	408,00	0,00	136,00
Octubre	3,00	3,70	6,00	127,00	36,32
Noviembre	3,00	3,70	27,00	706,00	199,81
Diciembre	3,00	3,70	25,00	1.206,00	334,28

Tabla 21. Energía eléctrica consumida para refrigeración y calefacción por el equipo de aerotermia

Para el cálculo de la electricidad que se requiere para calentar el agua caliente sanitaria se ha utilizado el COP, ya que consiste en un proceso térmico en el que se aumenta la temperatura.

Mes	Demanda de ACS [kWh]	COP Calefacción	Gasto ACS [kWh]
Enero	283,09	3,70	76,51
Febrero	255,70	3,70	69,11
Marzo	272,20	3,70	73,57
Abril	252,89	3,70	68,35
Mayo	250,43	3,70	67,68
Junio	226,54	3,70	61,23
Julio	217,76	3,70	58,86
Agosto	223,21	3,70	60,33
Septiembre	226,54	3,70	61,23
Octubre	255,87	3,70	69,15
Noviembre	263,42	3,70	71,20
Diciembre	283,09	3,70	76,51

Tabla 22. Energía eléctrica consumida para ACS por el equipo de aerotermia

El gasto eléctrico total proveniente de los equipos eléctricos, la calefacción y refrigeración por aerotermia y el calentamiento de agua caliente sanitaria se encuentra resumido en la Tabla 23.

MES	Demanda Equipos Eléctricos [kWh]	Gasto ACS [kWh]	Calefacción y Refrigeración por aerotermia [kWh]	Total [kWh]
Enero	261,00	76,51	346,92	684,43
Febrero	261,00	69,11	248,27	578,38
Marzo	261,00	73,57	179,14	513,71
Abril	261,00	68,35	106,83	436,18
Mayo	261,00	67,68	23,12	351,80
Junio	261,00	61,23	165,33	487,56
Julio	261,00	58,86	424,33	744,19
Agosto	261,00	60,33	385,00	706,33
Septiembre	261,00	61,23	136,00	458,23
Octubre	261,00	69,15	36,32	366,48
Noviembre	261,00	71,20	199,81	532,01
Diciembre	261,00	76,51	334,28	671,79

Tabla 23. Consumo eléctrico total solución Aerotermia-Fotovoltaica

6.1.3 ELECCIÓN PANELES FOTOVOLTAICOS, BATERÍA Y CONVERTOR

Una vez traducido el gasto térmico del equipo de aerotermia en electricidad y teniendo la demanda eléctrica de los equipos eléctricos, en esta solución aerotermia-fotovoltaica es necesario satisfacer toda la electricidad con paneles fotovoltaicos. Dado que toda la electricidad de la vivienda se va a suministrar con los paneles y que estos van a ser instalados en el tejado, el cual tiene una superficie limitada, se ha optado por elegir paneles modernos con alta relación kWp/área y alta eficiencia. Al ser la instalación en un tejado es importante que los paneles sean monofaciales, pues la bifacialidad no sería aprovechable y aumentaría el costo de los paneles. Para ello se han elegido los paneles X21-470-COM, de la fiable marca SunPower. Estos paneles cuentan con una eficiencia de 21.7% en el modelo de 470W, el cual es el escogido. Además, cuentan con una degradación anual del 0,25%, lo cual es significativamente menor que la degradación estándar de los paneles en el mercado actual, la cual se sitúa en torno al 0,4%.

Característica	Valor
Potencia nominal (W)	470
Tolerancia de potencia	+5/0 %
Eficiencia de los paneles	21,70%
Tensión nominal (Vmpp)	77,6
Intensidad nominal (Impp)	6,06
Dimensiones	1046*2067mm
Peso	25,4
Relación W/m ²	217,383
Degradación máxima anual	0,25%

Tabla 24. Características paneles solares SunPower X21-470-COM

En cuanto a la batería, cuyo modelo y capacidad será dimensionado en el apartado 6.1.4 se ha escogido la marca alemana BAE batterien, al ser un fabricante de baterías con una amplia gama y con alta disponibilidad por parte de los mayores distribuidores de equipos solares en España. Además, BAE Batterien es una empresa con amplia experiencia en la fabricación de baterías de plomo ácido.

La marca elegida para el inversor/regulador MPPT, el cual se encarga de transformar la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna y de modificar el voltaje para alimentar a la batería es la marca SMA. SMA es un fabricante de inversores tanto con conexión a red como en sistemas aislados Tier 1. Son equipos de alta fiabilidad y cuentan con un amplio rango de potencia. El modelo será escogido tras conocer la potencia necesaria de la instalación.

6.1.4 DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO Y DE BATERÍAS

Para realizar el dimensionamiento, es decir, la potencia pico que se requiere en la instalación es necesario tener en cuenta la vida de diseño de esta. Aunque los paneles tienen una vida de más de 25 años pese a la bajada de rendimiento, el resto de los equipos (aeroterminia, coche eléctrico...etc) es probable que se vean modificados en un futuro no tan

lejano por lo que se ha optado por una vida de diseño de 25 años. Hay que tener en cuenta que los paneles fotovoltaicos deben poder suministrar la energía necesaria en el año 25, para lo que es necesario tener en cuenta la degradación de los mismos. Los primeros años la producción será excedente, pero es una condición inevitable si se quiere que en el año 25 se suministre la energía suficiente. Además de tener en cuenta este factor, también es importante añadir un coeficiente de seguridad a la demanda eléctrica para hacer frente a la variabilidad de la demanda y ante un pico inusual de demanda que la instalación sea capaz de producir la energía necesaria. El factor de seguridad escogido es 1.2, para hacer frente a demandas un 20% más altas a lo largo de cada mes.

Aplicando el coeficiente de seguridad se obtiene la demanda eléctrica que debe ser satisfecha en el año 25. Con la degradación anual se obtiene la degradación acumulada en el año 25, de la cual se obtiene la energía total que el sistema debe producir en el año 1.

MES	Total Demanda anual [kWhe]	Coefficiente de seguridad	Total Mayorado año 25 [kWhe]	Degradación anual	Degradación acumulada año 25	Total energía año 1 [kWhe]
Enero	684,43	1,20	821,32	0,25%	6%	872,65
Febrero	578,38	1,20	694,05	0,25%	6%	737,43
Marzo	513,71	1,20	616,46	0,25%	6%	654,98
Abril	436,18	1,20	523,41	0,25%	6%	556,13
Mayo	351,80	1,20	422,16	0,25%	6%	448,55
Junio	487,56	1,20	585,07	0,25%	6%	621,64
Julio	744,19	1,20	893,03	0,25%	6%	948,84
Agosto	706,33	1,20	847,59	0,25%	6%	900,57
Septiembre	458,23	1,20	549,87	0,25%	6%	584,24
Octubre	366,48	1,20	439,77	0,25%	6%	467,26
Noviembre	532,01	1,20	638,41	0,25%	6%	678,31
Diciembre	671,79	1,20	806,15	0,25%	6%	856,53

Tabla 25. Energía a suministrar por la instalación fotovoltaica en el año 1

Para el dimensionamiento se ha utilizado el programa PVSyst, el cual es ampliamente utilizado en el diseño de instalaciones fotovoltaicas. El procedimiento seguido ha consistido en dimensionar la potencia de tal manera que todos los meses se satisfaga la demanda total, es decir, que la fracción solar sea del 100%. Para esto son críticos los meses de enero y diciembre, ya que coincide que son los meses con menos irradiación y, salvo julio y agosto, los de más demanda eléctrica.

Lo primero es definir el emplazamiento en PVSyst, para lo cual se han importado las coordenadas correspondientes a Majadahonda. Tras definir el emplazamiento se han importado los datos meteorológicos de PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), la base de datos de la comisión europea.

Site **Majadahonda (Spain)**

Data source

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Relative humidity
	kWh/m ² /mth	kWh/m ² /mth	°C	m/s	%
January	79.9	22.6	3.5	1.91	75.8
February	110.5	25.2	7.3	1.93	62.8
March	137.5	47.7	9.0	2.52	58.7
April	150.1	66.9	11.4	1.84	68.9
May	213.8	65.8	18.3	2.22	56.8
June	219.6	72.8	21.0	2.00	52.6
July	256.8	53.5	25.2	2.31	30.4
August	216.2	53.6	23.0	2.51	40.9
September	165.4	46.4	21.6	2.00	45.5
October	130.7	34.1	17.3	1.68	50.5
November	67.1	31.0	9.2	2.22	80.8
December	66.5	21.2	4.2	2.00	76.9
Year	1814.0	540.8	14.2	2.1	58.4

Ilustración 21. Datos meteorológicos de PVGIS utilizados en PVSyst

A partir de aquí se define la inclinación del plano, la cual será la inclinación de diseño del tejado de la casa. El tilt (inclinación) óptimo de los paneles para todo el año son 39 °.

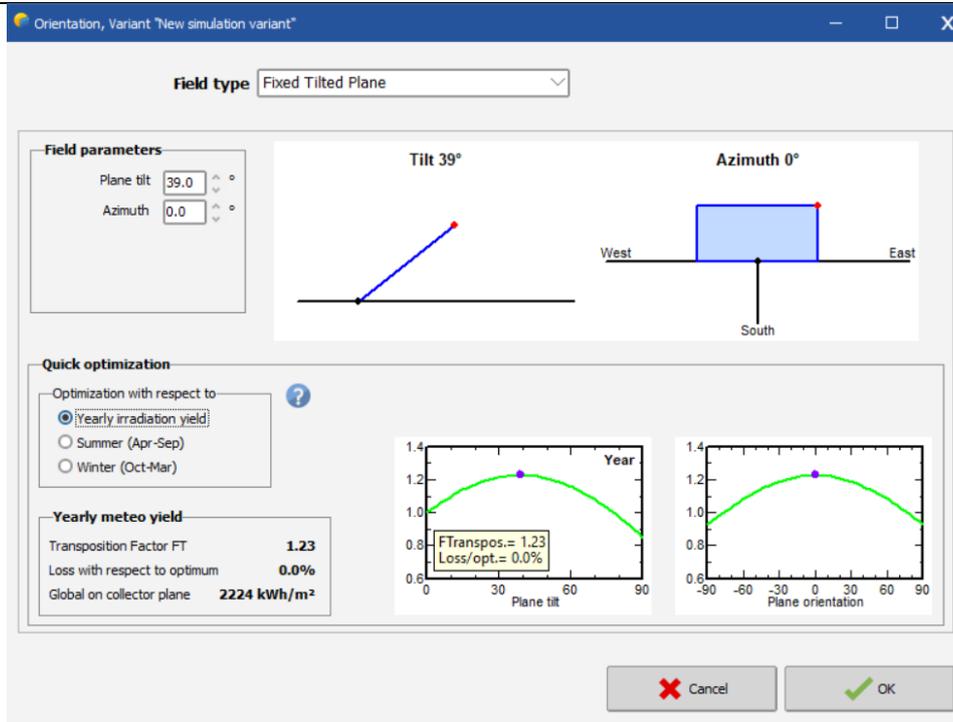


Ilustración 22. Tilt óptimo anual

Sin embargo, el tilt óptimo en los meses de invierno es de 60°.

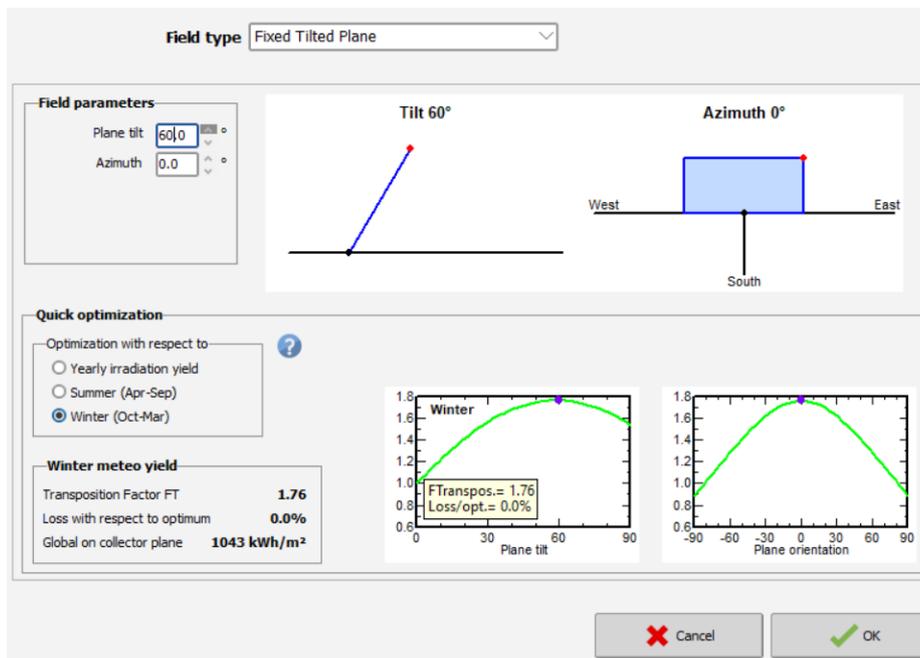


Ilustración 23. Tilt óptimo en invierno

Como los meses de invierno son los más críticos por la baja irradiación y la alta demanda, se ha decidido ajustar el valor anual del tilt (38°) a un valor medio entre el óptimo anual y el óptimo en invierno, optándose por un valor de 50°. De esta forma los paneles obtienen un mejor rendimiento en invierno ya que reciben la irradiación más directa pero no se penaliza tanto a los paneles en verano, ya que también van a requerir producir mucha energía. Después se ha introducido la demanda mensual en el programa, para asegurarse abastecer la demanda en todo momento. Con estos datos e introduciendo el modelo de panel fotovoltaico y la marca de baterías se ha dimensionado la instalación para abastecer la energía en todo momento.

Resultados:

	Irradiación Global Horizontal	Irradiación Global Efeciva	Energía Solar Disponible	Energía no Usada (Batería llena)	Demanda sin Abastecer	Energía Suministrada a Consumo	Energía Requerida	Fracción Solar
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
Enero	79,9	164,3	1053	91,5	0	873	873	1,000
Febrero	110,5	188,8	1186	412,4	0	737	737	1,000
Marzo	137,5	175,5	1113	424,3	0	655	655	1,000
Abril	150,1	149	942	364	0	556	556	1,000
Mayo	213,8	179,4	1117	633,6	0	449	449	1,000
Junio	219,6	170,5	1049	398,7	0	622	622	1,000
Julio	256,8	207,8	1241	254,5	0	949	949	1,000
Agosto	216,2	205,3	1238	298,3	0	901	901	1,000
Septiembre	165,4	193,7	1173	555,9	0	584	584	1,000
Octubre	130,7	199,4	1235	738,2	0	467	467	1,000
Noviembre	67,1	113	712	68,2	0	678	678	1,000
Diciembre	66,5	141,9	905	0	0	857	857	1,000
Año	1814,1	2088,6	12962	4239,6	0	8328	8328	1,000

Tabla 26. Balances y principales resultados simulación PVSyst

En el diagrama de Sankey de la Ilustración 24 se detalla el diagrama de pérdidas de la instalación.

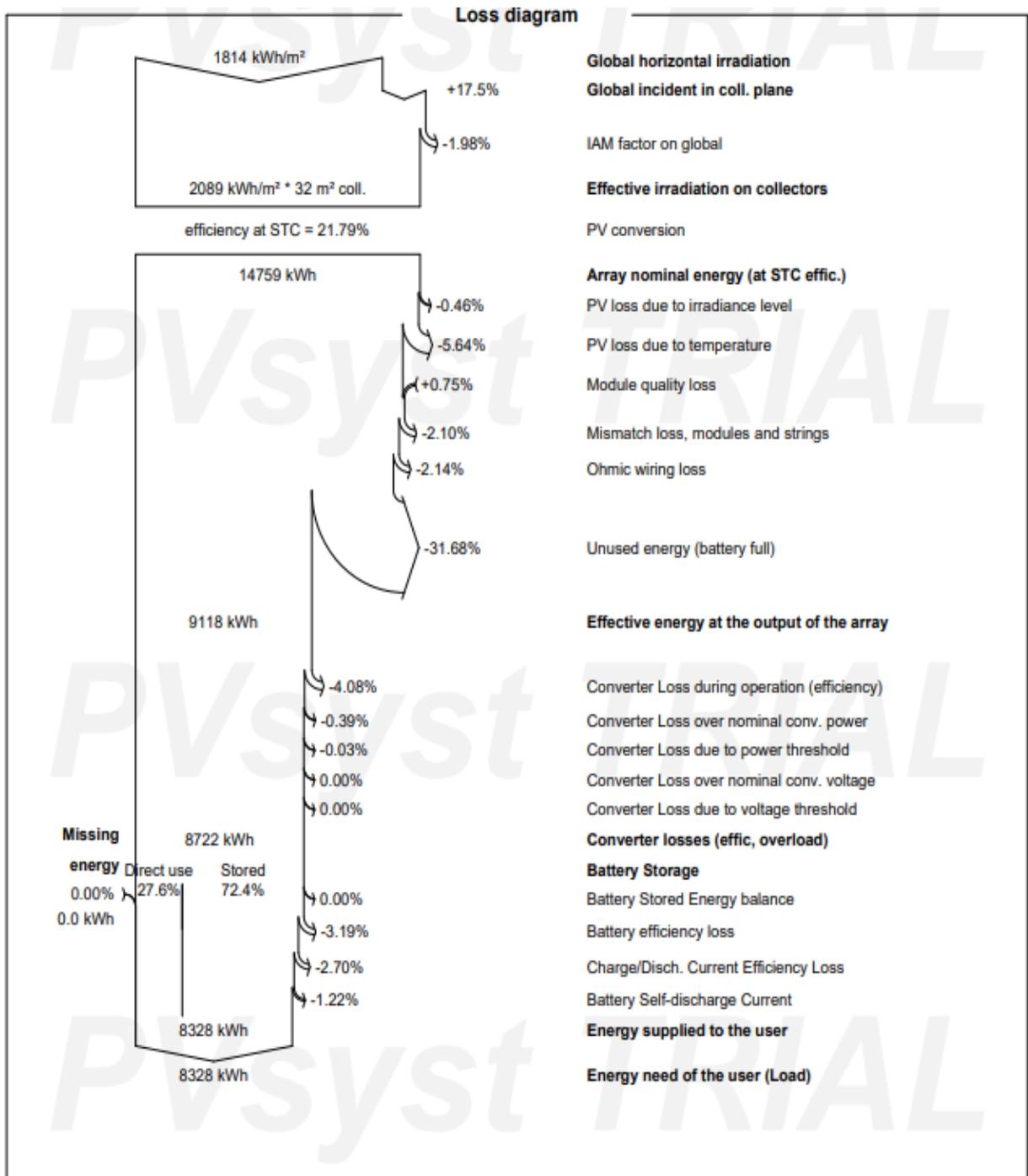


Ilustración 24. Diagrama de pérdidas de Sankey 6.1

Característica	Valor
Capacidad total	7,05 kWp
Número de Módulos	15
Capacidad nominal Batería	3000 Ah
Strings	1 x 15 módulos
Voltage Batería	48V
Área de módulos	32.4 m ²

Tabla 27. Principales características instalación fotovoltaica 6.1

La capacidad nominal resultante de la batería es de 3000Ah. La oferta en el mercado de este tipo de baterías es muy corta al tratarse de un campo todavía poco explorado y en el que los precios son todavía elevados. La Batería “48v 3000Ah OPzV” del fabricante BAE se compone de de 16 celdas de 3V que ofrecen el voltaje total de 48V y la capacidad de 3000Ah necesarios para la aplicación.

La capacidad nominal resultante de la instalación es de 7.1 kW. A la hora de elegir el inversor/regulador MPPT es importante dimensionarlo bien. De entre las gamas disponibles para estos convertidores de SMA de 48V, se puede elegir entre el modelo de 6 kW y el modelo de 8 kW. Aunque no es frecuente sobredimensionar el inversor, ya que rara vez se alcanza la potencia pico de la instalación, el modelo de 6 kW resultaría en un ratio de carga de 1,18 lo cual sería aceptable en sistemas conectados a la red. Al no tener el apoyo de la red en esta aplicación, se ha optado por escoger el modelo de 8 kW que, aunque este sobredimensionado, satisface las necesidades de conversión en cualquier momento de producción.

6.1.5 COSTE EQUIPOS

El desglose de los costes correspondientes a los equipos mencionados anteriormente para la solución Aerotermia-Fotovoltaica se encuentran recogidos en la Tabla 28.

Tecnología	Equipo	Marca	Modelo	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Aeroterminia	Bomba de Calor	Elnur Gabarron	Thermira Monobloc THME 6M	5.258,55 €	1	5.258,55 €
	Acumulador de Agua	Elnur Gabarron	MTG201	1.960,20 €	1	1.960,20 €
Fotovoltaica	Batería	BAE	48V 3000Ah OPzV BAE	23.898,11 €	1	23.898,11 €
	Paneles	SunPower	X21-470-COM	164,50 €	15	2.467,50 €
	Cableado	Genérico	-	300,00 €	1	300,00 €
	Sensores	Genérico	-	400 €	1	400,00 €
	Convertor MPPT	SMA	Sunny Island 8.0H 8kW 48V	3.858,81 €	1	3.858,81 €
	Estructura Paneles	Genérico	-	94,00 €	15	1.410,00 €
					TOTAL	39.553,17 €

Tabla 28. Coste equipos solución Aeroterminia-Fotovoltaica.

6.2 GEOTERMIA Y SOLAR FOTOVOLTAICA

En esta solución, la geotermia se utiliza para climatización y calentamiento de agua caliente sanitaria y la solar fotovoltaica para el abastecimiento eléctrico. Para ello es necesario elegir un equipo de geotermia que funcione tanto para calentamiento de agua sanitaria como para climatización.

Al igual que en la solución 6.1 con aeroterminia, es necesario que el equipo tenga una capacidad de refrigeración mayor que la demanda pico, es decir 3,06 kW, y una capacidad de calefacción mayor que la demanda pico, es decir 3,3 kW.

Para el suministro del equipo de geotermia se ha escogido la marca Clasius. Clasius es una Spin-off de la universidad de Vigo con casi una década en el mercado de los equipos geotérmicos. Pese a no tener una extensa vida en el mercado geotérmico, sus equipos son de alta fiabilidad y cuentan con el mayor COP del mercado con tecnología

invertir desde 2015. En su gama disponen de bombas de calor para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, así como acumuladores de agua.

El modelo a utilizar para esta solución es el HC 1-10 de la gama doméstica en configuración elite. Este modelo cuenta con un rango de potencias entre 1 y 10 kW en calefacción y de 2 a 11kW en refrigeración. Además, lleva un acumulador de 200L incorporado para almacenar ACS.

Las características más relevantes del equipo se encuentran detalladas en la Tabla 29.

Características	Valor
Capacidad calorífica	1-10 kW
Consumo eléctrico calefacción	4.63-46.3 kW
COP	4.63
Capacidad frigorífica	2-11 kW
Consumo eléctrico refrigeración	0.4-2.1 kW
EER	6.5
Dimensiones	1850x600x800 mm
Peso	238 kg

Tabla 29. Características principales HC 1-10 Elite Clasius

6.2.1 CÁLCULO GASTO ELÉCTRICO EQUIPO GEOTERMIA

De igual modo que en la solución 6.1 con aerotermia, el gasto eléctrico del equipo geotérmico se obtiene a partir de las demandas térmicas y el COP y EER del mismo con la Ecuación 1. Energía Eléctrica Consumida en Calefacción por Equipo de Aerotermia y la Ecuación 2. Energía Eléctrica Consumida en Calefacción por Equipo de Aerotermia. Este equipo cuenta con valores de EER y COP más elevados que la aerotermia, por lo que el consumo eléctrico que requiere es menor que en la anterior solución.

MES	EER Refrigeración	COP Calefacción	Demanda Refrigeración [kWh]	Demanda Calefacción [kWh]	Total [kWh]
Enero	6,50	4,63	24,00	1254,00	274,53
Febrero	6,50	4,63	24,00	889,00	195,70
Marzo	6,50	4,63	25,00	632,00	140,35
Abril	6,50	4,63	14,00	378,00	83,80
Mayo	6,50	4,63	28,00	51,00	15,32
Junio	6,50	4,63	496,00	0,00	76,31
Julio	6,50	4,63	1273,00	0,00	195,85
Agosto	6,50	4,63	1155,00	0,00	177,69
Septiembre	6,50	4,63	408,00	0,00	62,77
Octubre	6,50	4,63	6,00	127,00	28,35
Noviembre	6,50	4,63	27,00	706,00	156,64
Diciembre	6,50	4,63	25,00	1206,00	264,32

Tabla 30. Energía eléctrica consumida para refrigeración y calefacción por el equipo de geotermia

Para el cálculo de la energía eléctrica necesaria para el calentamiento de ACS se utiliza el COP en calefacción de nuevo.

MES	Demanda de ACS [kWh]	COP Calefacción	Gasto ACS [kWh]
Enero	283,09	4,63	61,14
Febrero	255,70	4,63	55,23
Marzo	272,20	4,63	58,79
Abril	252,89	4,63	54,62
Mayo	250,43	4,63	54,09
Junio	226,54	4,63	48,93
Julio	217,76	4,63	47,03
Agosto	223,21	4,63	48,21
Septiembre	226,54	4,63	48,93
Octubre	255,87	4,63	55,26
Noviembre	263,42	4,63	56,90
Diciembre	283,09	4,63	61,14

Tabla 31. Energía eléctrica consumida para ACS por el equipo de geotermia

Agregando la demanda de los equipos eléctricos, junto con el gasto del equipo de geotermia en términos eléctricos se obtiene la demanda eléctrica mensual. En este caso la demanda es menor que utilizando geotermia dado la alta eficiencia del equipo geotérmico.

MES	Demanda Equipos Eléctricos [kWh]	Gasto ACS [kWh]	Calefacción y Refrigeración por geotermia [kWh]	Total [kWh]
Enero	261,00	61,14	274,53	596,68
Febrero	261,00	55,23	195,70	511,93
Marzo	261,00	58,79	140,35	460,14
Abril	261,00	54,62	83,80	399,41
Mayo	261,00	54,09	15,32	330,41
Junio	261,00	48,93	76,31	386,24
Julio	261,00	47,03	195,85	503,88
Agosto	261,00	48,21	177,69	486,90
Septiembre	261,00	48,93	62,77	372,70
Octubre	261,00	55,26	28,35	344,62
Noviembre	261,00	56,90	156,64	474,53
Diciembre	261,00	61,14	264,32	586,46

Tabla 32. Consumo eléctrico total solución Geotermia-Fotovoltaica

6.2.2 ELECCIÓN PANELES FOTOVOLTAICOS Y BATERÍA

Con el fin de unificar criterios y comparar las distintas soluciones de forma inequívoca, los paneles y modelo de batería serán los mismos que en la solución Aerotermia-Fotovoltaica. Por ello, los paneles a utilizar son el modelo X21-470-COM, de SunPower. Estos paneles cuentan con una eficiencia de 21.7% y una potencia de 470W. El resto de las características se encuentran reflejadas en la Tabla 24.

En cuanto a la batería, cuyo modelo y capacidad será dimensionado más adelante se ha vuelto a escoger la marca alemana BAE batterien para unificar criterios y comparar las distintas soluciones de manera uniforme.

6.2.4 DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO Y DE BATERÍAS

Al igual que en la solución aerotermia-fotovoltaica, la demanda total de electricidad es mayorada un 20% para hacer frente a las demandas inusuales o a picos de demanda por encima de los valores habituales. De nuevo se asume una vida útil de 25 años por lo que se calcula la energía necesaria en el año 1 para que, teniendo en cuenta la degradación de los módulos, se satisfaga la demanda en el último año de vida útil.

MES	Total Demanda anual [kWhe]	Coefficiente de seguridad	Total Mayorado año 25 [kWhe]	Degradación anual	Degradación acumulada año 25	Total energía año 1 [kWhe]
Enero	596,68	1,20	716,01	0,25%	6%	760,76
Febrero	511,93	1,20	614,31	0,25%	6%	652,71
Marzo	460,14	1,20	552,17	0,25%	6%	586,68
Abril	399,41	1,20	479,30	0,25%	6%	509,25
Mayo	330,41	1,20	396,49	0,25%	6%	421,27
Junio	386,24	1,20	463,48	0,25%	6%	492,45
Julio	503,88	1,20	604,66	0,25%	6%	642,45
Agosto	486,90	1,20	584,28	0,25%	6%	620,80
Septiembre	372,70	1,20	447,24	0,25%	6%	475,19
Octubre	344,62	1,20	413,54	0,25%	6%	439,39
Noviembre	474,53	1,20	569,44	0,25%	6%	605,03
Diciembre	586,46	1,20	703,76	0,25%	6%	747,74

Tabla 33. Energía a suministrar por la instalación fotovoltaica en el año 1

Pese a que la demanda eléctrica es menor con el equipo de geotermia respecto al caso con aerotermia, la curva anual de demanda agregada por meses tiene el mismo perfil, ya que las cargas térmicas son las mismas en ambos casos. Por ello se decide utilizar 50° de tilt para los paneles de nuevo para mejorar la producción en los meses de invierno. El cálculo en PVSyst es el mismo, cambiando los valores de demanda del usuario por los nuevos.

Resultados:

	Irradiación Global Horizontal	Irradiación Global Efeciva	Energía Solar Disponible	Energía no Usada (Batería llena)	Demanda sin Abastecer	Energía Suministrada a Consumo	Energía Requerida	Fracción Solar
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
Enero	79,9	164,3	912	65,3	0,000	761,0	761,0	1,000
Febrero	110,5	188,8	1027	341,4	0,000	653,0	653,0	1,000
Marzo	137,5	175,5	964	346,4	0,000	587,0	587,0	1,000
Abril	150,1	149,0	815	286,3	0,000	509,0	509,0	1,000
Mayo	213,8	179,4	966	512,9	0,000	421,0	421,0	1,000
Junio	219,6	170,5	911	393,9	0,000	492,0	492,0	1,000
Julio	256,8	207,8	1083	410,2	0,000	642,0	642,0	1,000
Agosto	216,2	205,3	1080	428,3	0,000	621,0	621,0	1,000
Septiembre	165,4	193,7	1018	515,1	0,000	475,0	475,0	1,000
Octubre	130,7	199,4	1069	602,6	0,000	439,0	439,0	1,000
Noviembre	67,1	113,0	617	54,1	0,000	605,0	605,0	1,000
Diciembre	66,5	141,9	784	0,0	0,000	748,0	748,0	1,000
Total	1814,1	2088,6	11245	3956,5	0,000	6953,0	6953,0	1,000

Tabla 34. Balances y principales resultados simulación PVSyst

En la Ilustración 25. Diagrama de pérdidas de Sankey Ilustración 25 se detalla el diagrama de pérdidas de Sankey de la instalación.

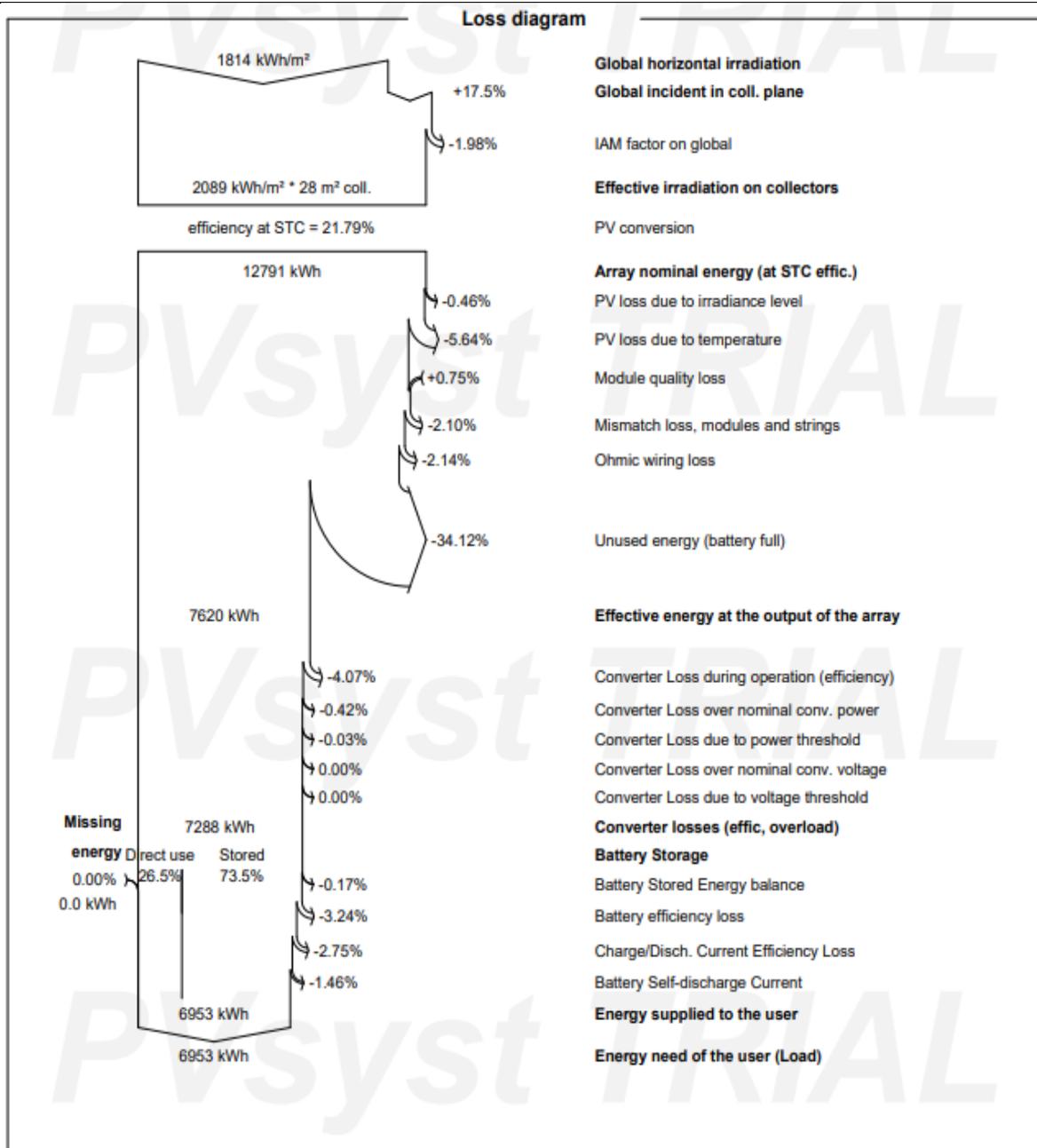


Ilustración 25. Diagrama de pérdidas de Sankey solución Geotermia-Fotovoltaica

Frente al caso aerotermia-fotovoltaica se consigue reducir la instalación 940Wp, con la reducción de dos paneles fotovoltaicos, aunque la batería necesaria es de la misma capacidad nominal. Los detalles de la instalación se muestran en la Tabla 35. Principales características instalación fotovoltaica 6.2

Característica	Valor
Capacidad total	6,11 kWp
Número de Módulos	13
Capacidad nominal Batería	3000 Ah
Strings	1 x 13 módulos
Voltage Batería	48V
Área de módulos	28,1 m ²

Tabla 35. Principales características instalación fotovoltaica 6.2

La capacidad nominal resultante de la batería en la simulación es de 3.000 Ah. Al requerir la misma capacidad y voltaje que en la solución aerotermia-fotovoltaica la batería escogida es la misma, la Batería “48v 3000Ah OPzV” del fabricante BAE que se compone de celdas de 16 celdas de 3V que ofrecen el voltaje de 48V y tiene la capacidad de 3.000 Ah necesaria para la aplicación.

La capacidad nominal de la instalación es de 6,1 kW. En este caso, al ser la capacidad de la instalación menor, se ha optado por elegir el inversor de 6 kW de SMA para reducir costes ya que no es necesario sobredimensionarlo al cubrir perfectamente las necesidades de conversiones en momentos de producción pico.

6.2.5 COSTE ECONÓMICO EQUIPOS

El desglose de los costes de los equipos correspondientes a la solución Aerotermia-Fotovoltaica se encuentran recogidos en la Tabla 36.

Tecnología	Equipo	Marca	Modelo	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Geotermia	Bomba de Calor con Acumulador ACS incorporado	Elnur Gabarron	Thermira Monobloc THME 6M	9.214,20 €	1	9.214,20 €
Fotovoltaica	Batería	BAE	48V 3000Ah OPzV BAE	23.898,11 €	1	23.898,11 €
	Paneles	SunPower	X21-470-COM	164,50 €	13	2.138,50 €
	Cableado	Genérico	-	300,00 €	1	300,00 €
	Sensores	Genérico	-	400 €	1	400,00 €
	Convertor MPPT	SMA	Sunny Island 6.0H 6kW 48V	3.226,38 €	1	3.226,38 €
	Estructura Paneles	Genérico	-	94,00 €	13	1.222,00 €
					TOTAL	40.399,19 €

Tabla 36. Coste económico equipos solución Geotermia-Fotovoltaica

6.3 AEROTERMIA, SOLAR FOTOVOLTAICA Y SOLAR TÉRMICA

En esta solución, la tecnología solar térmica se utiliza para calentamiento de agua caliente sanitaria, la aerotermia para climatización y la solar fotovoltaica para el abastecimiento eléctrico.

De igual manera que en la primera solución planteada, es necesario que el equipo de aerotermia tenga una capacidad de refrigeración mayor que la demanda pico, que en este caso es la hora 20 de Julio con 3,06 kW y una capacidad de calefacción mayor que la demanda pico, que se obtiene la hora 10 de febrero con 3,3 kW. El equipo de aerotermia, por tanto, es el mismo que en la primera solución en la que no se utiliza un equipo solar térmico para el calentamiento de agua caliente sanitaria. La principal diferencia entre ambas soluciones es el ahorro eléctrico en el equipo de aerotermia que supone la

instalación de los colectores solares, al no utilizarse este para el calentamiento de agua caliente sanitaria.

6.3.1 GASTO ELÉCTRICO AEROTERMIA

El gasto eléctrico total del equipo de aerotermia para satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración se ha calculado a partir del EER y el COP del equipo con la Ecuación 1. Energía Eléctrica Consumida en Calefacción por Equipo de Aerotermia y la Ecuación 2. Energía Eléctrica Consumida en Refrigeración por Equipo de Aerotermia y se encuentra reflejado en la Tabla 37.

MES	EER Refrigeración	COP Calefacción	Demanda Refrigeración [kWh]	Demanda Calefacción [kWh]	Total [kWh]
Enero	3,00	3,70	24,00	1254,00	346,92
Febrero	3,00	3,70	24,00	889,00	248,27
Marzo	3,00	3,70	25,00	632,00	179,14
Abril	3,00	3,70	14,00	378,00	106,83
Mayo	3,00	3,70	28,00	51,00	23,12
Junio	3,00	3,70	496,00	0,00	165,33
Julio	3,00	3,70	1273,00	0,00	424,33
Agosto	3,00	3,70	1155,00	0,00	385,00
Septiembre	3,00	3,70	408,00	0,00	136,00
Octubre	3,00	3,70	6,00	127,00	36,32
Noviembre	3,00	3,70	27,00	706,00	199,81
Diciembre	3,00	3,70	25,00	1206,00	334,28

Tabla 37. Gasto eléctrico aerotermia 6.3

6.3.2 DIMENSIONAMIENTO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Para el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica se ha utilizado el mismo procedimiento y mismos equipos que en las dos soluciones anteriores. El gasto eléctrico que conllevaba el calentamiento del agua caliente sanitaria supone un importante ahorro en la demanda eléctrica a cubrir por la instalación fotovoltaica.

Sumando el gasto eléctrico que supone la aerotermia calculado en el apartado anterior a la demanda de equipos eléctricos se obtiene la demanda total de electricidad de la vivienda reflejada en la Tabla 38.

MES	Demanda Equipos Eléctricos [kWhe]	Calefacción y Refrigeración por aerotermia [kWhe]	Total [kWhe]
Enero	261,00	346,92	607,92
Febrero	261,00	248,27	509,27
Marzo	261,00	179,14	440,14
Abril	261,00	106,83	367,83
Mayo	261,00	23,12	284,12
Junio	261,00	165,33	426,33
Julio	261,00	424,33	685,33
Agosto	261,00	385,00	646,00
Septiembre	261,00	136,00	397,00
Octubre	261,00	36,32	297,32
Noviembre	261,00	199,81	460,81
Diciembre	261,00	334,28	595,28

Tabla 38. Demanda eléctrica a cubrir por la instalación fotovoltaica

Al igual que en las dos soluciones anteriores, la demanda total de electricidad es mayorada un 20% para hacer frente a las demandas inusuales o a picos de demanda por encima de los valores habituales. De nuevo se asume una vida útil de 25 años por lo que se calcula la energía necesaria en el año 1 para que, teniendo en cuenta la degradación de los módulos, se satisfaga la demanda en el último año de vida útil.

MES	Total Demanda anual [kWhe]	Coefficiente de seguridad	Total Mayorado año 25 [kWhe]	Degradación anual	Degradación acumulada año 25	Total energía año 1 [kWhe]
Enero	607,92	1,20	729,50	0,25%	6%	775,097
Febrero	509,27	1,20	611,12	0,25%	6%	649,320
Marzo	440,14	1,20	528,17	0,25%	6%	561,184
Abril	367,83	1,20	441,39	0,25%	6%	468,982
Mayo	284,12	1,20	340,94	0,25%	6%	362,249
Junio	426,33	1,20	511,60	0,25%	6%	543,575
Julio	685,33	1,20	822,40	0,25%	6%	873,800
Agosto	646,00	1,20	775,20	0,25%	6%	823,650
Septiembre	397,00	1,20	476,40	0,25%	6%	506,175
Octubre	297,32	1,20	356,79	0,25%	6%	379,089
Noviembre	460,81	1,20	552,97	0,25%	6%	587,534
Diciembre	595,28	1,20	714,34	0,25%	6%	758,981

Tabla 39. Energía a suministrar por la instalación fotovoltaica en el Año 1

La curva anual de demanda agregada por meses tiene el mismo perfil que en los otros dos casos, ya que las cargas térmicas son las mismas en ambos casos. Por ello se decide utilizar 50° de tilt para los paneles de nuevo para mejorar la producción en los meses de invierno.

El cálculo en PVSyst es el mismo, cambiando los valores de demanda del usuario por los nuevos.

Los resultados del cálculo en PVSyst se encuentran recogidos en la Tabla 40. a continuación.

	Irradiación Global Horizontal	Irradiación Global Efeciva	Energía Solar Disponible	Energía no Usada (Batería llena)	Demanda sin Abastecer	Energía Sumnistrada a Consumo	Energía Requerida	Fracción Solar
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
Enero	79,9	164,3	912	65,3	0,000	761,0	761,0	1,000
Febrero	110,5	188,8	1027	341,4	0,000	653,0	653,0	1,000
Marzo	137,5	175,5	964	346,4	0,000	587,0	587,0	1,000
Abril	150,1	149,0	815	286,3	0,000	509,0	509,0	1,000
Mayo	213,8	179,4	966	512,9	0,000	421,0	421,0	1,000
Junio	219,6	170,5	911	393,9	0,000	492,0	492,0	1,000
Julio	256,8	207,8	1083	410,2	0,000	642,0	642,0	1,000
Agosto	216,2	205,3	1080	428,3	0,000	621,0	621,0	1,000
Septiembre	165,4	193,7	1018	515,1	0,000	475,0	475,0	1,000
Octubre	130,7	199,4	1069	602,6	0,000	439,0	439,0	1,000
Noviembre	67,1	113,0	617	54,1	0,000	605,0	605,0	1,000
Diciembre	66,5	141,9	784	0,0	0,000	748,0	748,0	1,000
Total	1814,1	2088,6	11245	3956,5	0,000	6953,0	6953,0	1,000

Tabla 40. Balances y principales resultados simulación PVSyst solución Geotermia-Solar Térmica-Fotovoltaica

y geotermia en los dos primeros apartados es similar al ahorro eléctrico en este caso aportado por externalizar el calentamiento de agua caliente sanitaria a otro equipo.

Característica	Valor
Capacidad total	6,11 kWp
Número de Módulos	13
Capacidad nominal Batería	3000 Ah
Strings	1 x 13 módulos
Voltage Batería	48V
Área de módulos	28.1 m ²

Tabla 41. Principales características instalación fotovoltaica 6.3

Dada la semejanza entre la instalación fotovoltaica de esta solución con la solución geotermia-fotovoltaica, los equipos escogidos son los mismos.

6.3.3 DIMENSIONAMIENTO EQUIPO SOLAR TÉRMICO

Para el dimensionamiento y elección del equipo solar térmico de esta solución se ha utilizado el software ESCOSOL de la empresa Salvador Escola. Este software permite introducir los datos de la instalación como la localización, inclinación de los paneles, número de personas en la vivienda, litros de agua al día...etc. Al poder elegir la fuente de origen de datos, en nuestro caso el IDEA, y al utilizar el mismo método de cálculo para los requerimientos energéticos, este software resulta idóneo para el cálculo de la instalación solar térmica.

Los datos introducidos como inputs en el software se reflejan en la Tabla 42 a continuación:

Input	Valor	Unidad
Número total de viviendas	1	viviendas/edificio
Número total de personas	4	personas/edificio
Caudal mínimo	28	litros/(persona-día-vivienda)
Temperatura de ACS	60	°C

Factor simultaneidad (en función de la Ordenanza Solar)	1	-
Caudal ACS demandado por edificio	112	litros/día
Localización (datos climáticos y radiación solar)	Madrid	-
Origen de los datos	IDEA	-
Latitud	40	° N
Inclinación de los captadores	50	° (grados)
Orientación de los captadores (azimut)	0	° (grados)
Pérdidas por ORIENTACIÓN (P_o)	0	-
Pérdidas por SOMBRAS edific. adyacentes (P_s)	0	-

Tabla 42. Inputs técnicos equipo solar térmico

La inclinación de los captadores es de 50° para estar alineado con la inclinación de los paneles fotovoltaicos y que de esta forma ambos equipos puedan estar instalados en el tejado bajo la misma configuración.

Las pérdidas por orientación y las pérdidas por sombras adyacentes se han establecido en cero ya que la vivienda tiene una orientación sur y se encuentra en una zona residencial sin sombras adyacentes.

Los resultados de la demanda energética están perfectamente alineados con los calculados anteriormente en el apartado 5.2.

	Nº días/mes	Temperatura agua fría de red (°C)	Demanda (kWh)
Enero	31	8	285,95
Febrero	28	8	258,28
Marzo	31	10	277,90
Abril	30	12	261,14
Mayo	31	14	261,79
Junio	30	17	241,65
Julio	31	20	237,62
Agosto	31	19	241,65
Septiembre	30	17	241,65
Octubre	31	13	265,82

Noviembre	30	10	268,93
Diciembre	31	8	285,95
ANUAL	365		3.128,34

Tabla 43. Resultados demanda energética ACS con software ESCOSOL

Para la elección del captador solar se ha elegido un captador genérico con las siguientes características:

Característica	Valor	Unidad
Modelo de captador	Captador Genérico	
Superficie de cada captador	2	m ² /captador
Fr Tau (factor óptico)	0,79	
FrU (pérdidas térmicas)	3,5	W/(m ² ·K)
Altura captador	1,8	m.
Inclinación	50	° (grados)
Latitud	40	° (grados)
Configuración de sistema solar	Edif. Unifamiliar: Equipo PREFABRICADO por termosifón	
Relación Volumen/Superficie captación (hipótesis inicial)	60	l/m ²
Fracción solar anual exigida	0,5	

Tabla 44. Características captador genérico

El software utiliza el método de cálculo f-Chart, el cual es ampliamente utilizado para el dimensionamiento de instalaciones solares térmicas. Este método está basado en las ecuaciones básicas de transmisión de calor. Para obtener una fracción solar de 100%, se ha iterado el cálculo variando el número de captadores solares que componen la instalación. La cantidad de captadores resultantes para que la fracción solar sea del 100% en todos los meses del año es de 10.

Número de captadores calculado	10,12	
Superficie de captación calculada	20,23	m ²
Volumen de acumulación ACS calculado	1.213,99	litros
Fracción solar anual calculada	99,95	%
Número de captadores sugerido	12,00	
Superficie de captación sugerida	24,00	m ²
Volumen de acumulación ACS sugerido	1.200,00	litros
Fracción solar con superficie sugerida	100,00	%
Número de captadores seleccionado	10,00	
Volumen de acumulación ACS seleccionado	150,00	litros
Superficie de captación resultante	20,00	m ²
Fracción solar anual resultante	1,00	%
Relación Volumen/Superficie captación resultante	7,50	l/m ²
Distancia mínima entre filas de captadores	2,71	m
Altura de obstáculo (p.ej. pequeño muro)	0,50	m
Distancia mínima entre 1ª fila y el obstáculo	0,98	m

Tabla 45. Cálculo de la superficie de captadores (Método f-Chart)

Dado que la radiación solar incidente en la superficie varía significativamente a lo largo del año y que la demanda energética para el calentamiento de ACS es menor en los meses de más irradiación ya que las temperaturas son mayores, las fracciones mensuales en los meses de verano son muy elevadas y la instalación queda muy sobredimensionada estos meses mientras que, en los meses de invierno, especialmente en enero y febrero está fracción solar apenas se alcanza.

	Radiación solar incidente inclinada $E_{I_{mes}}$ kWh/m ²	Fracción solar mensual f	Energía útil aportada por captadores $E_{U_{mes}}$ kWh
Enero	81,35	110%	285,95
Febrero	105,53	146%	258,28
Marzo	132,34	198%	277,90
Abril	153,53	374%	261,14
Mayo	156,58	401%	261,79
Junio	162,54	615%	241,65
Julio	194,78	1316%	237,62
Agosto	196,93	1278%	241,65
Septiembre	166,18	671%	241,65
Octubre	136,45	247%	265,82
Noviembre	96,25	127%	268,93
Diciembre	77,22	106%	285,95
ANUAL			3.128,34

Tabla 46. Fracción solar mensual y energía útil aportada por los captadores

6.3.4 COSTE ECONÓMICO EQUIPOS

El volumen de acumulación de los captadores es de 150 L. Dado que el acumulador de agua que se ha elegido en la primera solución con aerotermia es de 200L y este satisface las necesidades se ha elegido el mismo para unificar criterios.

En cuanto a los captadores, dado que se ha realizado el cálculo con captadores genéricos, se ha establecido un precio por captador de acuerdo con los estándares del mercado. Este precio se establece en 500 € por captador.

Tecnología	Equipo	Marca	Modelo	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Aeroterminia	Bomba de Calor	Elnur Gabarron	Thermira Monobloc THME 6M	5.258,55 €	1	5.258,55 €
Solar Térmica	Acumulador de Agua	Elnur Gabarron	MTG201	1.960,20 €	1	1.960,20 €
	Captador Solar	Genérico	-	500,00 €	10	5.000,00 €
	Circuito Intercambiador	Genérico	-	1.000,00 €	1	1.000,00 €
Fotovoltaica	Batería	BAE	48V 3000Ah OPzV BAE	23.898,11 €	1	23.898,11 €
	Paneles	SunPower	X21-470-COM	164,50 €	13	2.138,50 €
	Cableado	Genérico	-	300,00 €	1	300,00 €
	Sensores	Genérico	-	400 €	1	400,00 €
	Convertor MPPT	SMA	Sunny Island 8.0H 8kW 48V	3.858,81 €	1	3.858,81 €
	Estructura Paneles	Genérico	-	94,00 €	13	1.222,00 €
TOTAL						45.036,17 €

Tabla 47. Coste económico equipos 6.3

6.4 SOLUCIÓN ESCOGIDA

Al tratarse de tres diseños energéticos en los que se abastecen todas las necesidades energéticas y en los que no hay gastos por importación de energía de la red, la elección de la solución se basa principalmente en el desembolso económico que se debe realizar por ella.

Solución	Coste
Aeroterminia-Fotovoltaica	39.553,17 €
Geoterminia-Fotovoltaica	40.399,19 €
Aeroterminia-Solar Térmica-Fotovoltaica	45.036,17 €

Tabla 48. Comparativa de costes de las tres soluciones propuestas

Como se puede observar en la Tabla 48, la solución más económica, y por tanto elegida, es la solución aerotermia-fotovoltaica. La solución aerotermia-solar térmica-fotovoltaica resulta más costosa ya que requiere la instalación de un tercer equipo ya que no integra el calentamiento de agua caliente sanitaria en la aerotermia. En la segunda solución planteada, la geotermia, pese a ser más eficiente que la aerotermia y hacer que la instalación fotovoltaica sea más pequeña y barata, es más costosa que la aerotermia, haciendo que el precio global de la solución sea más elevado.

En los tres casos se ha partido de las hipótesis que van a tener la misma vida útil y que el coste de mano de obra para la instalación es el mismo.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para abordar el análisis económico hay que primero valorar el desembolso que hay que realizar como inversión inicial y los flujos de caja que la inversión va a tener a lo largo de la vida útil del proyecto para determinar si la inversión es económicamente viable o no. Como se ha mencionado anteriormente, dadas las características de los equipos, la vida útil para la que se analiza la inversión es de 25 años si bien es cierto que se podría alargar esta vida útil con futuras reinversiones.

7.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial a realizar en cuanto a la instalación energética implica el coste de los equipos ya calculados en la Tabla 28 y el coste de mano de obra. Además, se tiene en cuenta una pequeña partida de contingencia correspondiente a pequeñas partes de repuesto como cableado, fusibles...etc para que, en caso de necesidad de un pequeño mantenimiento correctivo, el tiempo de actuación sea corto y la instalación esté parada el menor tiempo posible. El tiempo estimado de obra, para la instalación del equipo de aerotermia y la instalación fotovoltaica, con tres operarios trabajando una jornada de 8 horas diarias es de 5 días. Además, se ha añadido un coste de 50€ diarios por transporte de operarios y un seguro de obra con coste de 100€/día. Se parte de la hipótesis que el coste de transporte de los equipos está implícito en el precio de estos.

El coste total resultante de los trabajos de obra es de 2350€, desglosados en la Tabla 49.

	Cantidad	Días	Precio	Total
Mano de Obra	2	5	20 €/Hora	1.600,00 €
Transporte	1	5	50 €/Día	250,00 €
Seguro de Obra	1	5	100 €/Día	500,00 €
			Total	2.350,00 €

Tabla 49. Costes de obra

La inversión inicial resultante, sumándole al coste de los equipos el coste de obra es de 42,403,17€.

Objeto	Coste (€)
Coste Equipos Aerotermia	7.218,75 €
Coste Equipos Fotovoltaica	32.334,42 €
Pequeños Repuestos	500,00 €
Coste de Obra	2.350,00 €
Total	42.403,17 €

Tabla 50. Inversión inicial

7.2 COSTES DE OPERACIÓN

Entre los costes de operación se distingue entre costes por mantenimiento preventivo, costes por mantenimiento correctivo y costes de reinversión. La vida útil de la instalación energética en cuestión es de 25 años, aunque no todos los componentes garantizan esta vida. El componente de la instalación más crítico, y a la vez fundamental, es la batería. Actualmente se estima que baterías de este tipo tienen una vida útil entre 12 y 14 años, por lo que se ha decidido considerar una reinversión de esta en el año 12 para lograr los 25 años de vida útil de toda la instalación. Como los precios de las baterías actualmente son muy elevados y, al igual que pasó hace una década con los paneles fotovoltaicos, están bajando dado su desarrollo en el mercado se ha decidido estimar el precio de la batería en el año 12 un 30% más bajo de lo que se encuentra actualmente.

Los costes por mantenimiento correctivo, los cuales sirven de contingencia en caso de fallo de algún componente de la instalación, se estiman en 50€ al año.

Los costes por mantenimiento preventivo corresponden a una limpieza anual de paneles con coste de 10 €/panel y a una revisión de la bomba de calor cada 5 años con un precio de 50 €/revisión. Estos costes, junto con los correspondientes al mantenimiento correctivo son inflacionados en el modelo financiero.

Además, dentro de estos costes de operación se incluye la reinversión correspondiente a la batería en el año 12.

Operación	Objeto	Periodicidad	Precio	Total [€]
Mantenimiento Preventivo	Limpieza de paneles	Anual	10 €/panel	150 €
	Revisión bomba de calor	Cada 5 años	50 €/revisión	50 €
Mantenimiento Correctivo	Contingencia	Anual	50 €	50 €
Reinversión	Baterías	En el año 12	16.728,68 €	16.728,68 €

Tabla 51. Costes de operación

7.3 FLUJOS DE CAJA

Para analizar la viabilidad de la inversión y el ahorro o coste adicional que supone su implementación frente a un diseño energético convencional de una casa conectada a la red y con sistema de gas natural, se considera el coste que supone cada año el sistema convencional como un ingreso en nuestra inversión, al ser un coste que está evitándose gracias a la implementación del nuevo diseño.

7.3.1 FLUJOS DE CAJA POR GAS NATURAL

El ahorro por gas natural es el correspondiente a los kWh necesarios para el calentamiento de agua caliente sanitaria y calefacción. Además, es necesario tener en cuenta que el término fijo de acceso al peaje también es un ahorro que se realiza mes a mes. Los kWh anuales correspondientes al gas natural son 8.253,76, desglosados mes a mes en la Tabla 52.

MES	Demanda de ACS [kWh]	Demanda Calefacción [kWh]	Total [kWh]
Enero	283,09	1.254,00	1.537,09
Febrero	255,70	889,00	1.144,70
Marzo	272,20	632,00	904,20
Abril	252,89	378,00	630,89
Mayo	250,43	51,00	301,43
Junio	226,54	0,00	226,54

Julio	217,76	0,00	217,76
Agosto	223,21	0,00	223,21
Septiembre	226,54	0,00	226,54
Octubre	255,87	127,00	382,87
Noviembre	263,42	706,00	969,42
Diciembre	283,09	1.206,00	1.489,09
		Total	8.253,76

Tabla 52. Demanda de kWh por ACS y calefacción

Según *PrecioGas*, el precio del gas natural en España para una tarifa RL.2, a la cual correspondería la vivienda en cuestión, es de 0,1419€/kWh y un término Fijo de 11,53€ al mes, sin incluir IVA. El ahorro anual en gas natural es de 1.584,58 €, desglosado en la Tabla 53.

Objeto	Precio	Total Anual
Energía	0,1419 €/kWh	1.171,21 €
Peaje	11,53 €/mes	138,36 €
	Total Sin IVA	1.309,57 €
	IVA	21%
	Total Con IVA	1.584,58 €

Tabla 53. Ahorro anual en gas natural

7.3.2 FLUJOS DE CAJA POR ELECTRICIDAD

El ahorro en electricidad es el correspondiente a los kWh de los equipos eléctricos y los kWh que se requerirían para satisfacer los kWh de la refrigeración. Para ello se ha partido de la hipótesis que en un diseño convencional se utilizaría un equipo de aire acondicionado para satisfacer las necesidades de refrigeración.

Según Expert Clima, un equipo de aire acondicionado medio de 3.000 frigorías suele consumir 1kW. Para realizar el cálculo de la electricidad requerida, es necesario pasar los kWh a frigorías hora y así se obtiene el consumo eléctrico del aire acondicionado, representado en la Tabla 54.

MES	Demanda Refrigeración [kWht]	Relación frigoríashora /kWht	Demanda Refrigeración [Frigoríashora]	Relación Kwe / Frigorías AC	Total kWhe AC
Enero	24,00	0,86	20,64	0,33	6,88
Febrero	24,00	0,86	20,64	0,33	6,88
Marzo	25,00	0,86	21,50	0,33	7,17
Abril	14,00	0,86	12,04	0,33	4,01
Mayo	28,00	0,86	24,08	0,33	8,03
Junio	496,00	0,86	426,56	0,33	142,19
Julio	1.273,00	0,86	1.094,78	0,33	364,93
Agosto	1.155,00	0,86	993,30	0,33	331,10
Septiembre	408,00	0,86	350,88	0,33	116,96
Octubre	6,00	0,86	5,16	0,33	1,72
Noviembre	27,00	0,86	23,22	0,33	7,74
Diciembre	25,00	0,86	21,50	0,33	7,17

Tabla 54. Consumo eléctrico de AC en un diseño convencional

El consumo total de electricidad anual correspondiente a un diseño anual sería de 4.136,77 kWhe, desglosado en la Tabla 55.

MES	Demanda Equipos Eléctricos [kWhe]	Demanda Refrigeración por AC	Total Electricidad [kWhe]
Enero	261,00	6,88	267,88
Febrero	261,00	6,88	267,88
Marzo	261,00	7,17	268,17
Abril	261,00	4,01	265,01
Mayo	261,00	8,03	269,03
Junio	261,00	142,19	403,19
Julio	261,00	364,93	625,93
Agosto	261,00	331,10	592,10
Septiembre	261,00	116,96	377,96
Octubre	261,00	1,72	262,72
Noviembre	261,00	7,74	268,74
Diciembre	261,00	7,17	268,17
Total			4.136,77

Tabla 55. Consumo eléctrico anual con un diseño energético convencional

Para calcular el coste económico que supondría el consumo eléctrico obtenido de la red se ha partido de la hipótesis de que los consumos se reparten uniformemente a lo largo de los distintos periodos en los que se aplica la discriminación horaria dada la posibilidad de recargar el coche eléctrico durante periodos valle. Por lo tanto, el término fijo se calcula en función del precio medio de la electricidad. Como en cualquier factura de la luz, es necesario calcular el termino fijo por potencia contratada, que dados los consumos se fija en 8kW, y el término variable por energía consumida. Sobre la base de estos dos términos se aplica el impuesto sobre la electricidad, que actualmente es de 5,113%. Adicionalmente se suma el coste del alquiler del contador de luz por importe de 0,027 €/día. Al total de estas cuatro partidas se le aplica el IVA al 21% correspondiente a la península y se obtiene el coste total de la electricidad.

Según la organización de consumidores y usuarios (OCU), el precio medio de la electricidad en junio 2022 fue de 0,2118 €/kWh. Para calcular el coste por término fijo se ha tomado como referencia la tarifa “Plan Estable” de Iberdrola, que no aplica discriminación horaria. Los precios de esta tarifa para el término fijo en horario valle y horario punta sin impuestos son de 4,10 kW/ año y 30,67 €/kW año.

Objeto	Precio	Total Anual
Termino Variable	0,2118 €/kWh	876,17 €
Termino Fijo Valle	4,10 €/kW anual	32,80 €
Termino Fijo Punta	30,67 €/kW anual	245,36 €
Impuesto sobre electricidad	5,11%	59,02 €
Contadores de Luz	0,027 €/día	9,86 €
	Total Sin IVA	1.223,20 €
	IVA (21%)	256,87 €
	Total Con IVA	1.480,08 €

Tabla 56. Ahorro anual en electricidad

7.4 CUENTA DE RESULTADOS

A continuación, se expone la cuenta de resultados del diseño energético elegido. Para ello ha sido necesario asumir unos valores de inflación para los costes de operación y para el coste de la energía, tanto el gas natural como la electricidad. La inflación del gas natural se ha asumido más alta que la de la electricidad dada la dependencia del recurso de otros países y la situación incierta actual. La tasa de descuento se ha escogido cogiendo como referencia la tasa típica empleada en proyectos fotovoltaicos al ser la parte del diseño que más peso económico tiene sobre el proyecto. Los valores asumidos en la cuenta de resultados se recogen en la Tabla 57 a continuación.

Vida Útil del Proyecto	25 años
Inflación Costes de Operación	1% anual
Inflación Gas Natural	3% anual
Inflación Electricidad	2,5% anual
Tasa de Descuento	5%

Tabla 57. Hipótesis asumidas en la cuenta de resultados

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión [€]	- 42.403,17 €								
Ahorro por Gas Natural [€]	1.584,58 €	1.632,12 €	1.681,08 €	1.731,51 €	1.783,46 €	1.836,96 €	1.892,07 €	1.948,83 €	2.007,30 €
Ahorro por Electricidad [€]	1.480,00 €	1.517,00 €	1.554,93 €	1.593,80 €	1.633,64 €	1.674,48 €	1.716,35 €	1.759,25 €	1.803,24 €
Limpieza de Paneles [€]	- 150,00 €	- 151,50 €	- 153,02 €	- 154,55 €	- 156,09 €	- 157,65 €	- 159,23 €	- 160,82 €	- 162,43 €
Revisión Bomba de Calor [€]					- 52,55 €				
Mantenimiento Correctivo [€]	- 50,00 €	- 50,50 €	- 51,01 €	- 51,52 €	- 52,03 €	- 52,55 €	- 53,08 €	- 53,61 €	- 54,14 €
Flujo de Caja [€]	- 39.537,59 €	2.947,12 €	3.031,99 €	3.119,25 €	3.156,43 €	3.301,24 €	3.396,11 €	3.493,66 €	3.593,96 €
Flujo de Caja Acumulado [€]	- 39.537,59 €	- 36.590,47 €	- 33.558,49 €	- 30.439,24 €	- 27.282,80 €	- 23.981,56 €	- 20.585,45 €	- 17.091,79 €	- 13.497,82 €
Año	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Inversión [€]			- 16.728,68 €						
Ahorro por Gas Natural [€]	2.067,52 €	2.129,54 €	2.193,43 €	2.259,23 €	2.327,01 €	2.396,82 €	2.468,72 €	2.542,79 €	2.619,07 €
Ahorro por Electricidad [€]	1.848,32 €	1.894,53 €	1.941,89 €	1.990,44 €	2.040,20 €	2.091,20 €	2.143,48 €	2.197,07 €	2.252,00 €
Limpieza de Paneles [€]	- 164,05 €	- 165,69 €	- 167,35 €	- 169,02 €	- 170,71 €	- 172,42 €	- 174,15 €	- 175,89 €	- 177,65 €
Revisión Bomba de Calor [€]	- 55,23 €					- 58,05 €			
Mantenimiento Correctivo [€]	- 54,68 €	- 55,23 €	- 55,78 €	- 56,34 €	- 56,90 €	- 57,47 €	- 58,05 €	- 58,63 €	- 59,22 €
Flujo de Caja [€]	3.641,87 €	3.803,14 €	- 12.816,50 €	4.024,30 €	4.139,59 €	4.200,08 €	4.380,01 €	4.505,34 €	4.634,20 €
Flujo de Caja Acumulado [€]	- 9.855,96 €	- 6.052,81 €	- 18.869,31 €	- 14.845,00 €	- 10.705,42 €	- 6.505,34 €	- 2.125,33 €	2.380,01 €	7.014,21 €
Año	19	20	21	22	23	24	25		
Inversión [€]									
Ahorro por Gas Natural [€]	2.697,64 €	2.778,57 €	2.861,93 €	2.947,79 €	3.036,22 €	3.127,31 €	3.221,12 €		
Ahorro por Electricidad [€]	2.308,29 €	2.366,00 €	2.425,15 €	2.485,78 €	2.547,93 €	2.611,62 €	2.676,91 €		
Limpieza de Paneles [€]	- 179,42 €	- 181,22 €	- 183,03 €	- 184,86 €	- 186,71 €	- 188,57 €	- 190,46 €		
Revisión Bomba de Calor [€]		- 61,01 €							
Mantenimiento Correctivo [€]	- 59,81 €	- 60,41 €	- 61,01 €	- 61,62 €	- 62,24 €	- 62,86 €	- 63,49 €		
Flujo de Caja [€]	4.766,71 €	4.841,94 €	5.043,04 €	5.187,09 €	5.335,20 €	5.487,50 €	5.644,09 €		
Flujo de Caja Acumulado [€]	11.780,92 €	16.622,86 €	21.665,90 €	26.852,99 €	32.188,19 €	37.675,69 €	43.319,78 €		

Tabla 58. Cuenta de resultados

7.5 VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

Para determinar la viabilidad económica del proyecto se utilizan los indicadores financieros del valor actual neto (VAN), la tasa interna de rentabilidad (TIR) y el periodo de retorno de la inversión. Para el cálculo de los indicadores financieros, aunque en la cuenta de resultados la inversión inicial aparezca en el año 1, se ha tenido en cuenta que la inversión se realiza al principio del año y por tanto no requiere ser descontada.

7.5.1 VAN

El VAN es uno de los indicadores financieros más utilizados para determinar la viabilidad económica de un proyecto. Su valor representa el valor del proyecto hoy, actualizando los gastos e ingresos futuros con la tasa de descuento utilizada. Se obtiene restandole al valor actualizado de los flujos de caja, es decir, los ingresos y gastos, el valor inicial de la inversión.

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

Ecuación 3. Fórmula del VAN

Donde:

- I_0 = Inversión Inicial
- k = Tasa de descuento
- n =Número de años del proyecto
- t = Año del proyecto
- F_t =Flujo de caja en el año t

Un valor positivo del VAN indica que el proyecto es viable y ofrece rentabilidad mientras que un valor negativo del VAN indica que la inversión no debería llevarse a cabo. Un valor de 0 en el VAN representa que económicamente es indiferente realizar la inversión.

Con las hipótesis planteadas, el VAN resultante de este proyecto es de 2.080,53 €. El VAN presenta un valor positivo, lo que quiere decir que la inversión es económicamente viable y presentaría rentabilidades según este indicador.

7.5.2 TIR

La TIR o tasa interna de retorno es, junto con el VAN, uno de los indicadores financieros más utilizados para determinar la rentabilidad de un proyecto. Matemáticamente, la TIR es la tasa de descuento que iguala el VAN a cero. Por tanto, si la TIR es mayor que la tasa de descuento, el proyecto es económicamente viable. Cuanto mayor sea la TIR, más rentabilidad ofrece la inversión. La TIR (i) se calcula como:

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

Ecuación 4. Fórmula de la TIR (i)

Con las hipótesis planteadas, la TIR del proyecto de este proyecto es del 5,43%. La tasa de descuento utilizada es del 5%, por lo que, al ser la TIR mayor que esta, el proyecto resulta económicamente viable según este indicador.

7.5.3 PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

El periodo de retorno de la inversión, comúnmente conocido por su nombre en inglés “payback period” refleja cuanto tiempo tarda la inversión en ser amortizada, es decir, el tiempo que tardan los ingresos en cubrir los gastos acarreados en la inversión y operación del proyecto. Esto se da en el momento en el que los flujos de caja acumulados empiezan a ser positivos. Como se puede observar en la Tabla 58. Cuenta de resultados, el flujo de caja acumulado comienza a ser positivo en el año 17. El proyecto tiene una vida útil de 25 años, por lo que la inversión se amortizaría antes del fin de la vida útil del proyecto. El hecho de que el periodo de retorno de la inversión no sea más corto puede hacer que a inversores más conservadores no les atraiga la inversión, ya que la incertidumbre a 17 años vista es mayor.

8. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Uno de los mayores atractivos del proyecto es el impacto positivo sobre el medio ambiente que produce. Mediante el uso de las energías renovables, se evita consumir energía de la red, cuya procedencia no siempre es verde. Según Red Eléctrica Española, el 56 % de la generación de energía en España de enero a junio de 2022 ha sido procedente de fuentes no renovables.

Estructura de la generación de enero a junio de 2022

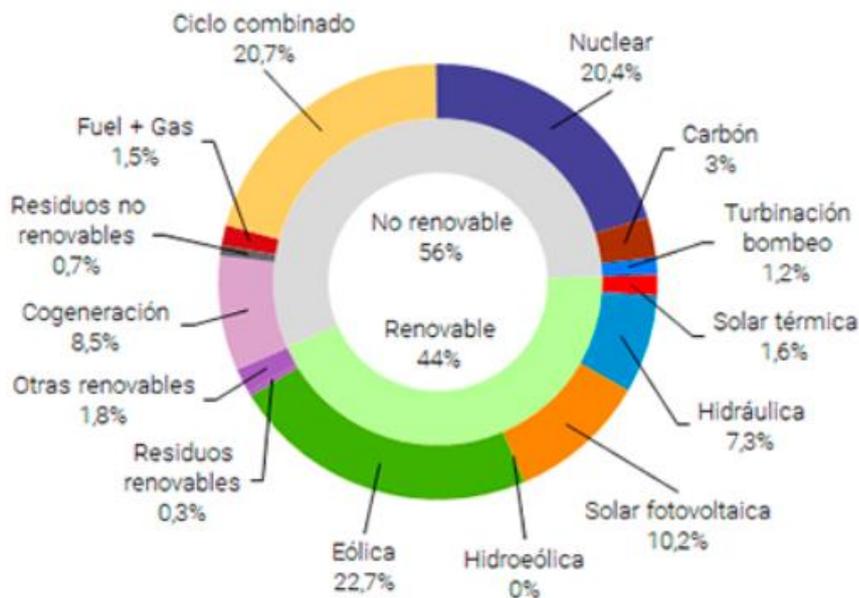


Ilustración 27. Estructura de la generación en España de enero a junio de 2022. Fuente: REE

Según el informe de etiquetado de electricidad de todas las empresas comercializadoras de electricidad de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), en 2021 el mix energético tuvo un factor de emisión de 259 gramos de CO₂ equivalentes por cada kWh. Tomando como valor de referencia del presente proyecto los kWh que debe abastecer el equipo fotovoltaico el primer año para la demanda de equipos eléctricos y de equipos de climatización se tiene un total de 6.531

kWh, lo que se traduce en un ahorro total de emisiones de 1.691,54 kg de CO₂ equivalentes en el primer año. Este valor, aunque dada que con la tendencia del mix energético hacia las energías renovables se vaya a ver reducido anualmente, supone una cantidad muy significativa de emisiones.

Según el Instituto Nacional de Estadística, en 2020 había en España 2.574.900 viviendas unifamiliares independientes y 3.379.300 viviendas unifamiliares adosadas o pareadas, las cuales también pueden aplicar un diseño similar. Si se parte de la hipótesis que estas viviendas tienen unas necesidades y un consumo similar a la vivienda estudiada en el proyecto, la implementación de un diseño autosuficiente con energías renovables supondría un ahorro en emisiones de cerca de 10 millones de toneladas de CO₂ equivalente (10.071.824,5 ton. CO₂).

Además de las emisiones de CO₂ evitadas, el diseño implica la eliminación de gran parte de la infraestructura energética dada la independencia de la red. Esto conlleva un impacto visual positivo en el paisaje y una reducción de la materia prima utilizada.

9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Una de las principales conclusiones del proyecto es la viabilidad de ofrecer abastecimiento energético a una vivienda de forma aislada de la red con energías renovables. Independientemente del coste de la inversión inicial y de los costes de operación, se ha demostrado que es posible satisfacer una demanda típica de una vivienda unifamiliar utilizando únicamente energías renovables y sin necesidad de conectarse a la red. Esto permite avanzar en la independencia energética tanto a nivel individual como a nivel global. Además, en el diseño se encuentra una solución para el abastecimiento energético en lugares remotos o con una infraestructura pobre.

El proyecto involucra varios de los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la ONU en la Agenda 2030. El diseño energético de la vivienda es seguro, resiliente y sostenible. Además, el diseño contribuye en la acción contra el cambio climático reduciendo la huella de carbono mediante el uso de energías renovables y puede servir de base para su extrapolación a otros lugares en desarrollo para luchar contra la pobreza energética.

La diferencia en la demanda energética entre los distintos meses del año es muy significativa. Mientras que la demanda de electricidad por parte de los equipos eléctricos es constante y la demanda térmica para el calentamiento de ACS varía ligeramente, la demanda térmica por calefacción y refrigeración tiene una gran variabilidad. En los meses de primavera y otoño en los que la temperatura es más estable y cercana a las condiciones de confort, la demanda energética es hasta tres veces menor que en meses como enero, donde la demanda por calefacción es muy grande. Este problema se suma al hecho de que, durante los meses de más demanda en invierno, la irradiación es menor, por lo que es necesario sobredimensionar la instalación fotovoltaica. La autosuficiencia y desconexión de la red presenta un problema en este sentido ya que es necesario dimensionar los equipos para poder satisfacer las demandas energéticas durante todos los meses, quedando estos

equipos muy sobredimensionados en épocas donde no se requiere tanta energía o el recurso solar es abundante. De aquí se concluye que el emplazamiento y las condiciones climatológicas juegan un papel fundamental en la viabilidad de este tipo de proyectos. Climas más estables y con menos variabilidad pueden beneficiarse enormemente en este sentido.

El diseño de la vivienda es crítico para el diseño energético. En este tipo de soluciones es fundamental la eficiencia energética de la vivienda, por lo que es importante centrarse en los cerramientos y el aislamiento de esta. La orientación, así como la inclinación del tejado son dos elementos del diseño críticos que determinan la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Es crítico realizar un buen diseño de la vivienda en función del emplazamiento de la misma.

La energía solar fotovoltaica se postula como una solución indispensable en este tipo de proyectos para la generación de energía eléctrica. La tecnología minieólica todavía tiene poca penetración en el mercado dado su baja eficiencia y, dado las necesidades eléctricas para abastecer a los equipos de climatización, la tecnología fotovoltaica resulta esencial. Además, esta tecnología es poco invasiva al instalarse sobre el tejado y requerir poco espacio.

De entre las tres soluciones estudiadas, la solución fotovoltaica-aeroterminia es la solución más adecuada. Esto se debe a una cuestión económica, ya que las tres soluciones aportan la autosuficiencia buscada. El equipo geotérmico resulta más eficiente que el equipo de aeroterminia, reduciendo la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios y la capacidad nominal del inversor, pero el incremento en el coste de este no compensa la reducción de los costes en el equipo fotovoltaico.

Económicamente el proyecto es viable, ofreciendo un VAN positivo de 2.080,53 € y una TIR del 5.43 %. Sin embargo, estos valores no resultan muy holgados y la inversión conlleva un riesgo económico dada la sensibilidad del proyecto respecto a los costes de operación y la inflación de los precios de la electricidad y el gas natural. Además, el periodo de retorno de la inversión es de 17 años, aumentando la incertidumbre al tratarse

de un periodo tan extenso. Aunque el proyecto es rentable económicamente, resulta más atractivo desde el punto de vista de la independencia energética y la sostenibilidad, siendo un diseño energético moderno, fiable y sostenible.

El elemento más crítico del diseño es la batería ya que es el elemento más costoso. Además, se requiere realizar una reinversión en este para extender la vida útil del proyecto. El uso de la batería es imprescindible para lograr la autosuficiencia e independencia de la red ya que es el elemento que vence las variabilidades en el recurso energético. Avances en la tecnología de las baterías y la reducción del precio de estas pueden conducir hacia diseños menos costosos y más atractivos desde el punto de vista económico.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Lifehaus Project. Nizar Haddad. <https://www.lifehausproject.com/>
- [2] Casa Martina: primer hogar realmente autosuficiente de la Comunidad de Madrid. FuturENERGY. Julio 2013. <https://futureenergyweb.es/casa-martina-primer-hogar-realmente-autosuficiente-de-la-comunidad-de-madrid/>
- [3] Zero Energy Buildings. Oficina de eficiencia energética y energía renovable del gobierno de Estados Unidos. <https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>
- [4] APPA Renovables. ¿Qué es la Energía Minieólica? <https://www.appa.es/appa-minieolica/que-es-la-energia-minieolica/>
- [5] TECHNOSUN. Diez cosas que debería saber sobre la energía minieólica. Noviembre, 2016. <http://blog.technosun.com/10-cosas-que-deberia-saber-sobre-la-energia-minieolica/>
- [6] Ygrene. Small Wind Turbines & Generators to Power your Home. February 2020. <https://ygrene.com/blog/sustainable-living/small-wind-turbines-generators-power-your-home>
- [7] Inditer. ¿Qué es la Aerotermia? Enero 2020 <https://inditer.es/blog/que-es-la-aerotermia/>
- [8] Iberdrola. Almacenamiento de energía: la clave de un futuro descarbonizado <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/almacenamiento-de-energia-eficiente>
- [9] Enel. ¿Qué es la energía solar y cómo funciona? <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar-y-como-funciona.html>
- [10] Solar-energia.net. Energía solar térmica, usos y tipos de instalaciones <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>
- [11] La Geotermia para las viviendas unifamiliares como solución idónea de futuro <https://arquitectura-sostenible.es/la-geotermia-para-las-viviendas-unifamiliares-como-solucion-idonea-de-futuro/#:~:text=La%20Geotermia%20para%20las%20viviendas%20unifamiliares%20como%20soluci%C3%B3n%20id%C3%B3nea%20de%20futuro,-Publicado%20el%2024&text=En%20este%20sentido%2C%20queremos%20hablaros,agua%20caliente%2C%20calefacci%C3%B3n%20y%20climatizaci%C3%B3n.>
- [12] TecnoSol. Baterías para energía solar. Conceptos y tipos de baterías. <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/>
- [13] Centro Nacional del Hidrógeno. Pilas de combustible. <https://www.cnh2.es/pilas-de-combustible/>
- [14] SoCalGas. Fuel Cell Technology. <https://www.socalgas.com/for-your-business/power-generation/fuel-cell-technology>
- [15] Ayuntamientos de España. Majadahonda. <https://www.ayuntamiento-espana.es/ayuntamiento-majadahonda.html#distance>
- [16] Documento Básico HE Ahorro de Energía DB HE 2019 del CTE. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [17] Válvulas arco. ¿Qué es un acumulador de agua? <https://blog.valvulasarco.com/que-es-un-acumulador-agua>
- [18] El periódico de la energía. 10 coches eléctricos más vendidos en España. <https://elperiodicodelaenergia.com/10-coches-electricos-mas-vendidos-espana-2021/>
- [19] TESLA. Model 3. https://www.tesla.com/es_ES/model3/design?redirect=no#overview
- [20] Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

-
- [21] Precio Gas. Precio del kWh de Gas Natural en España. <https://preciogas.com/faq/precio-kwh>
- [22] OCU. Precio de la luz. Las facturas siguen al alza. <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz#:~:text=Evoluci%C3%B3n%20del%20precio%20de%20la,reducci%C3%B3n%20del%20IVA%20del%205%25.>
- [23] REE. La demanda de energía eléctrica de España aumenta un 2,8% en junio. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2022/07/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-aumenta-2-8-en-junio-2022>
- [24] CNMC. Etiquetado de electricidad de todas las empresas comercializadoras de electricidad, según artículo 7.1 de la Circular 2/2021, de la CNMC: https://gdo.cnmc.es/CNE/abrirVentanaIGeneral.do?fichero=EtiquetadoComercializadora_2021.pdf&directorio=etiquetadoEmpElec
- [25] Instituto Nacional de Estadística. Número de viviendas según tipo de edificación y régimen de tenencia. <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t20/p274/serie/def/p07/10/&file=01002.px>

ANEXO I

BAE SECURA PVV SOLAR

Technical Specification for Valve Regulated Lead-Acid Batteries (VRLA-GEL)

1. Application

BAE SECURA PVV SOLAR batteries are the ideal solution for storage of regenerative energy in home systems and in the industrial sectors. Robustness and reliability are characteristic for BAE SECURA PVV SOLAR batteries. In addition, they do not require any refilling of water during the whole battery life time and are maintenance-free.

The special electrode design with tubular electrodes and the fixed gel electrolyte distinguish the BAE SECURA PVV SOLAR batteries and lead to high security and reliability as well as high cycle life time.



Similar to the illustration

2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

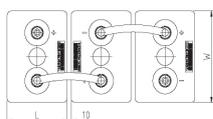
Type	C_{1h} Ah	C_{10h} Ah	C_{20h} Ah	C_{72h} Ah	C_{100h} Ah	C_{120h} Ah	C_{240h} Ah	R_i 1) mΩ	I_k 2) kA	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Weight kg
U_g V/cell	1.67	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
2 PVV 140	71	121	134	153	157	158	165	1.65	1.30	105	208	420	12.4
3 PVV 210	107	182	202	229	236	238	247	1.15	1.86	105	208	420	17.1
4 PVV 280	143	243	268	306	314	318	331	0.89	2.40	105	208	420	19.4
5 PVV 350	179	304	336	383	393	397	412	0.73	2.91	126	208	420	23.3
6 PVV 420	215	364	404	460	472	477	496	0.63	3.39	147	208	420	27.4
5 PVV 550	254	447	506	570	583	589	609	0.68	3.14	126	208	535	31.4
6 PVV 660	302	529	598	671	686	693	715	0.58	3.64	147	208	535	36.9
7 PVV 770	350	610	688	770	788	795	820	0.52	4.12	168	208	535	42.4
6 PVV 900	417	729	834	943	968	978	1,012	0.46	4.63	147	208	710	49.5
7 PVV 1050	492	858	980	1,116	1,140	1,154	1,195	0.36	5.81	215	193	710	60.4
8 PVV 1200	559	970	1,106	1,252	1,280	1,296	1,344	0.32	6.54	215	193	710	67.3
9 PVV 1350	616	1,090	1,252	1,418	1,450	1,464	1,524	0.34	6.29	215	235	710	75.5
10 PVV 1500	691	1,200	1,382	1,562	1,600	1,620	1,675	0.28	7.50	215	235	710	82.5
11 PVV 1650	748	1,320	1,512	1,713	1,750	1,764	1,836	0.28	7.56	215	277	710	90.8
12 PVV 1800	822	1,440	1,644	1,857	1,900	1,920	1,989	0.24	8.63	215	277	710	97.7
11 PVV 2090	839	1,570	1,772	2,023	2,070	2,088	2,169	0.27	7.86	215	277	855	108.2
12 PVV 2280	927	1,710	1,918	2,181	2,230	2,256	2,337	0.23	9.18	215	277	855	116.5
13 PVV 2470	1,040	1,890	2,120	2,426	2,490	2,508	2,592	0.18	11.91	215	400	815	131.4
14 PVV 2660	1,125	2,070	2,320	2,678	2,740	2,772	2,880	0.17	12.63	215	400	815	141.2
15 PVV 2850	1,191	2,170	2,420	2,772	2,840	2,868	2,976	0.16	13.25	215	400	815	147.9
16 PVV 3040	1,265	2,300	2,580	2,937	3,000	3,036	3,144	0.15	13.94	215	400	815	156.2
17 PVV 3230	1,358	2,480	2,780	3,182	3,260	3,300	3,408	0.14	15.32	215	490	815	173.6
18 PVV 3420	1,433	2,610	2,920	3,348	3,420	3,468	3,576	0.13	16.03	215	490	815	181.4
19 PVV 3610	1,507	2,740	3,080	3,506	3,590	3,624	3,744	0.12	16.70	215	490	815	189.6
20 PVV 3800	1,581	2,870	3,220	3,664	3,750	3,792	3,912	0.12	17.37	215	490	815	197.8
22 PVV 4180	1,740	3,210	3,600	4,118	4,220	4,272	4,416	0.11	18.43	215	580	815	219.1
24 PVV 4560	1,887	3,470	3,900	4,442	4,550	4,596	4,752	0.10	19.76	215	580	815	235.4
26 PVV 4940	2,014	3,650	4,060	4,608	4,710	4,764	4,920	0.10	21.02	215	580	815	248.4

1, 2) Internal resistance R_i and short circuit current I_k according to IEC 60896-21

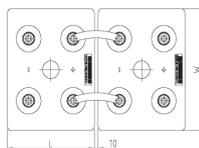
Height (H) is the maximum height between container bottom and top of the bolts in assembled condition.

All values published in the table correspond to 100 % discharge of current depending capacity without voltage drop of connectors. Please consider item 7.

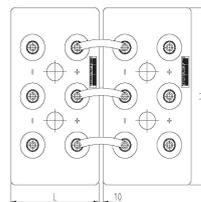
3. Terminal positions



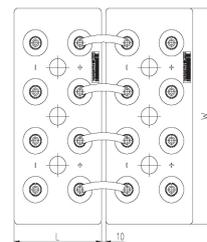
2 PVV 140 to 6 PVV 900



7 PVV 1050 to 12 PVV 2280



13 PVV 2470 to 16 PVV 3040



17 PVV 3230 to 26 PVV 4940

Terminals are designed as female poles with brass inlay M10 for flexible insulated copper cables with cross-section 25, 35, 50, 70, 95 or 120 mm² or insulated solid copper connectors with cross-section 90, 150 or 300 mm².

Technical Specification for BAE SECURA PVV SOLAR



4. Design

Positive electrode	Tubular-plate with woven polyester gauntlet and solid grids in a corrosion-resistant PbCaSn-alloy
Negative electrode	Grid-plate in PbCaSn-alloy with long-life expander material
Separation	Microporous separator
Electrolyte	Sulphuric acid with a density of 1.24 kg/l (20 °C), fixed as GEL by fumed silica
Container and lid	High impact ABS (Acrylonitrile butadiene styrene), grey coloured (colour may vary slightly from given image), UL-94 rating: HB, on request also in UL-94 rating: V-0
Valve	Valve with flame arrestor, opening pressure approx. 120 mbar
Pole bushing	100 % gas- and electrolyte-tight, sliding, plastic coated "Panzerpol"
Kind of protection	IP 25 regarding EN 60529, touch protected according to BGV A3
Horizontal operation	Please use BAE special type PVV "horizontal".

5. Installation

BAE SECURA PVV SOLAR batteries are designed for indoor applications. For outdoor applications please contact BAE.

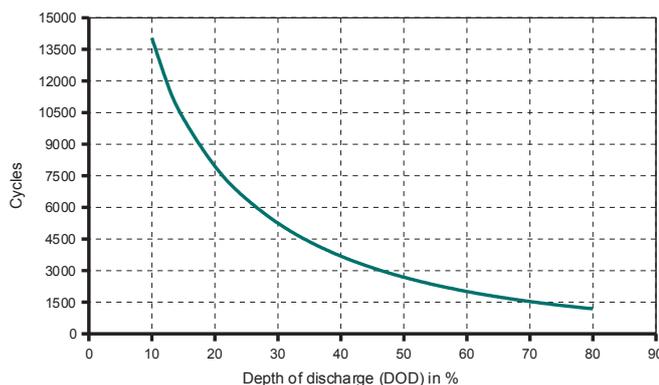
6. Maintenance

Every 6 months	Check battery voltage, pilot cell voltages and temperatures
Every 12 months	Check connections, record battery voltage, cell voltages and temperatures

7. Operational data

Depth of discharge (DOD)	Max. 80 % ($U_e = 1.91$ V/cell for discharge times >10 h; 1.74 V/cell for 1 h), deep discharges of more than 80 % DOD have to be avoided
Initial charge current (I or bulk phase)	Unlimited, the minimal charge current has to be 1.5 A/100 Ah C ₁₀
Charge voltage at cyclic operation	Restricted from 2.30 V to 2.40 V per cell, operating instruction is to be observed
Float voltage/non cyclic operation	2.25 V/cell
Adjustment of charge voltage	No adjustment necessary if battery temperature is kept between 10 °C and 45 °C (50 °F and 113 °F) in the monthly average, $\Delta U/\Delta T = -0.003$ V/cell per K below 10 °C (50 °F)
Recharge to 100 %	Within a period of 1 up to 4 weeks
Battery temperature	-20 °C to 45 °C (-4 °F to 113 °F), recommended temperature range 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F)
Self-discharge	Approx. 2 % per month at 20 °C (68 °F)
IEC 61427 cycles	>3,000 (A+B) at 40 °C (104 °F)
IEC 60896-21 cycles	>1,500 at 20 °C (68 °F)

8. Number of cycles as function of Depth of discharge



9. Transport

Batteries are not subject to ADR (road transport), if the conditions of Special Provisions 598 and 238 (Chapter 3.3) are observed. BAE cells/batteries are conform to the IMDG-Code, therefore these products are no dangerous goods on sea transport.

10. Standards

Test standards	IEC 60896-21, IEC 61427
Safety standard, ventilation	IEC 62485-2

ANEXO II

SUNNY ISLAND 4.4M / 6.0H / 8.0H

PARA APLICACIONES CONECTADAS A RED Y PARA SISTEMAS AISLADOS



SI4.4M-12 / SI6.0H-12 / SI8.0H-12



**Ahora con comunicación
WLAN incluida**

Comunicativo

- Comunicación mediante ethernet y WLAN
- Webconnect
- Registro de datos optimizado

Fiable

- 10 años de garantía
- Una gran capacidad de sobrecarga
- IP54 para un funcionamiento fiable en condiciones extremas

Flexible

- Para sistemas de autoconsumo, sistemas eléctricos de repuesto y sistemas aislados
- Integrable y ampliable de forma modular en sistemas monofásicos y trifásicos

- Compatible con todas las las baterías de plomo y más de 20 baterías de iones de litio diferentes

SUNNY ISLAND 4.4M / 6.0H / 8.0H

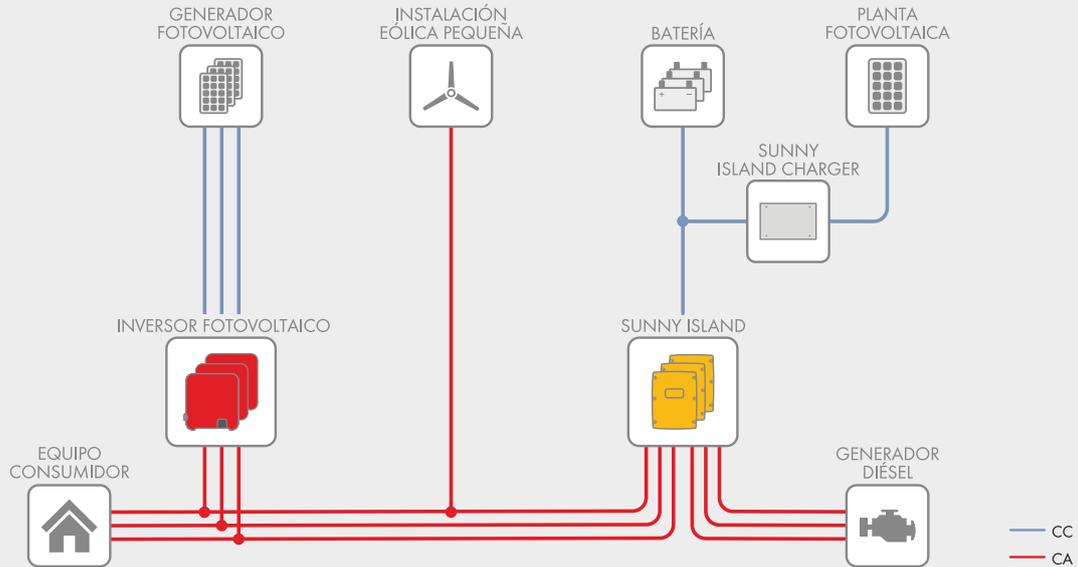
La solución más fiable para todas las necesidades: más sencillo que nunca

En regiones alejadas de la red o en la red pública en propiedades privadas: el inversor de batería Sunny Island es la mejor solución tanto en instalaciones conectadas a la red como aisladas. Los usuarios se benefician de la experiencia de los más de 70.000 Sunny Island instalados en todo el mundo. Gracias a la interfaz web integrada y a las interfaces estándar WLAN y ethernet, el Sunny Island 4.4M/6.0H/8.0H puede configurarse y monitorizarse fácilmente a través de Smartphone o de tablet. Como elemento clave del SMA Flexible Storage System, el Sunny Island almacena temporalmente la corriente auto-generada y permite utilizar la corriente fotovoltaica en cualquier momento del día.

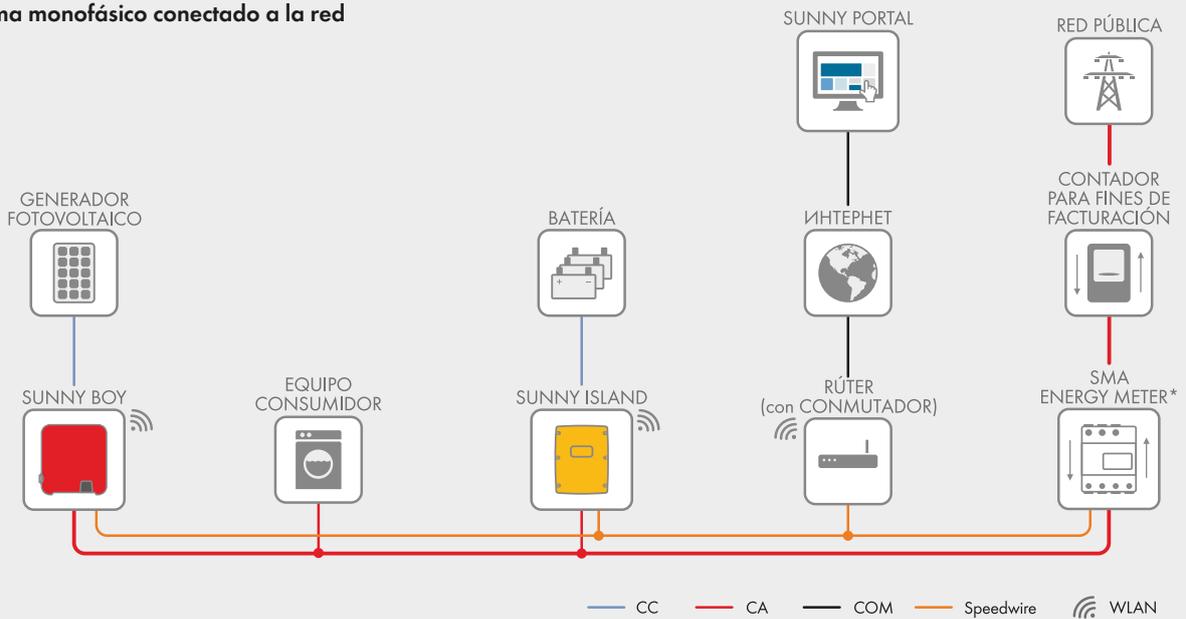
Su alta clase de protección, su amplia gama de temperaturas y su excepcional capacidad de sobrecarga garantizan siempre la seguridad necesaria. La gestión inteligente de la carga y de la energía asegura el funcionamiento también en situaciones críticas.

El Sunny Island es la solución más fiable y fácil para todas las necesidades e incluye una garantía de 10 años.

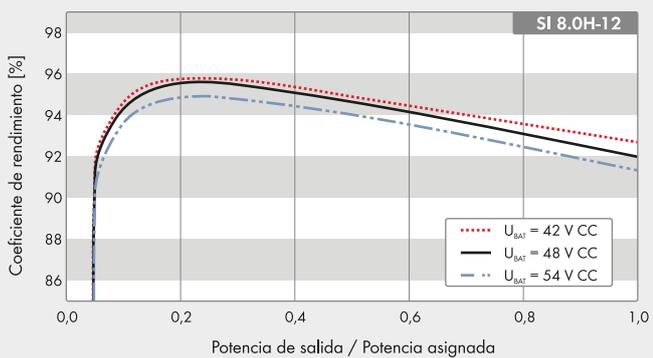
Sistema aislado trifásico



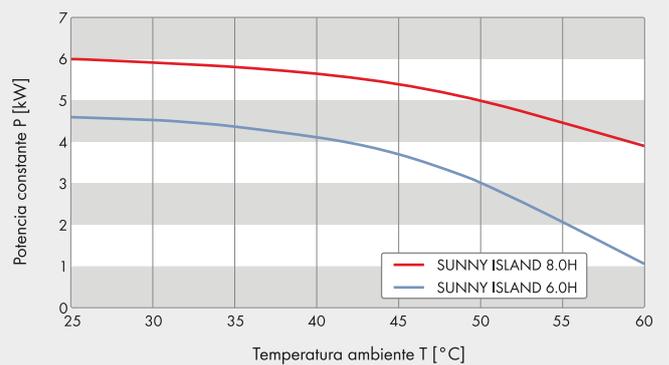
Sistema monofásico conectado a la red



Curva de rendimiento



Curva característica potencia/temperatura



Datos técnicos	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Funcionamiento en la red pública o generador fotovoltaico			
Tensión asignada de red/Rango de tensión de CA	230 V/De 172,5 V a 264,5 V		
Frecuencia asignada de red/Rango de frecuencia admisible	50 Hz/De 40 Hz a 70 Hz		
Corriente alterna máx. para optimizar el autoconsumo (funcionamiento de red)	14,5 A	20 A	26 A
Potencia de CA máx. para optimizar el autoconsumo (funcionamiento de red)	3,3 kVA	4,6 kVA	6 kVA
Corriente máxima de entrada de CA	50 A	50 A	50 A
Potencia máxima de entrada CA	11500 W	11500 W	11500 W
Funcionamiento en red aislada o como sistema de respaldo			
Tensión asignada de red/Rango de tensión de CA	230 V/De 202 V a 253 V		
Frecuencia nominal/Rango de frecuencia (ajustable)	50 Hz/De 45 Hz a 65 Hz		
Potencia asignada (a Unom, fnom/25 °C/cos φ = 1)	3300 W	4600 W	6000 W
Potencia de CA a 25 °C durante 30 min/5 min/3 s	4400 W/4600 W/5500 W	6000 W/6800 W/11000 W	8000 W/9100 W/11000 W
Potencia de CA a 45 °C	3000 W	3700 W	5430 W
Corriente asignada/Corriente de salida máxima (pico)	14,5 A/60 A	20 A/120 A	26 A/120 A
Coefficiente de distorsión de la tensión de salida/Factor de potencia con potencia asignada	<5 % /De -1 a +1	<1,5 % /De -1 a +1	<1,5 % /De -1 a +1
Batería de entrada de CC			
Tensión asignada de entrada/Rango de tensión CC	48 V/De 41 V a 63 V	48 V/De 41 V a 63 V	48 V/De 41 V a 63 V
Corriente de carga máx. de la batería/de carga asignada de CC/de descarga asignada de CC	75 A/63 A/75 A	110 A/90 A/103 A	140 A/115 A/130 A
Tipo de batería/Capacidad de la batería (rango)	Iones litio ¹⁾ , FLA, VRLA/ De 100 Ah a 10000 Ah (plomo) De 50 Ah a 10000 Ah (iones litio)		
Regulación de carga	Procedimiento de carga IUoU con carga completa y de compensación automáticas		
Rendimiento/Autoconsumo del equipo			
Rendimiento máximo	95,5 %	95,8 %	95,8 %
Consumo sin carga/En espera	18 W/6,8 W	25,8 W/6,5 W	25,8 W/6,5 W
Dispositivo de protección (equipo)			
Cortocircuito de CA/Sobrecarga de CA	● / ●		
Protección contra polarización inversa de CC/Fusible de CC	- / -		
Sobretensión/Descarga total de la batería	● / ●		
Categoría de sobretensión según IEC 60664-1	III		
Datos generales			
Dimensiones (ancho/alto/fondo)	467 mm/612 mm/242 mm (18,4 inch/21,1 inch/9,5 inch)		
Peso	44 kg (97 lb)	63 kg (138,9 lb)	63 kg (138,9 lb)
Rango de temperatura de funcionamiento	De -25 °C a +60 °C (de -13 °F a +140 °F)		
Clase de protección según IEC 62103	I		
Clase climática según IEC 60721	3K6		
Tipo de protección según IEC 60529	IP54		
Equipamiento/Función			
WLAN, Speedwire/Webconnect/SI-SYSCAN (multiclúster)	● / ● / -	● / ● / ○	● / ● / ○
Tarjeta de almacenamiento micro SD para un registro de datos ampliado	○		
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil/Relé multifunción	● / 2		
Sistemas trifásicos (con campo giratorio)/Función de alimentación de repuesto	● / ●		
Cálculo del nivel de carga/Carga completa/Carga de compensación	● / ● / ●		
Sensor de temperatura de la batería/Cables de datos	○ / ●		
Certificados y autorizaciones	www.SMA-Solar.com		
Color de la cubierta amarillo/aluminio blanco	○ / ○		
Garantía 5/10 años	● / ● ³⁾		
Para sistemas aislados			
Detección automática de campo giratorio/Asistencia de generador	● / ●		
Conexión en paralelo/Multiclúster	- / -	● / ●	● / ●
Arranque suave integrado	●		
Accesorios			
Para sistemas aislados			
Fusible de batería ²⁾	○		
Sunny Island Charger SIC50-MPT ²⁾ / SMA Cluster Controller	○ / ○		
Para aplicaciones conectadas a la red			
Sunny Home Manager/SMA Energy Meter/Equipo de conmutación para corriente de repuesto ²⁾	○ / ○ / ○		
● Equipamiento de serie ○ Opcional - No disponible			
1) Consulte la "Lista de baterías de iones de litio homologadas" en www.SMA-Solar.com			
2) De proveedor externo			
3) Si se registra a través de la ficha informativa adjunta			
Todas las especificaciones actualizadas a julio de 2017			
Modelo comercial	SI4.4M-12	SI6.0H-12	SI8.0H-12

SUNNY DESIGN

Diseño de instalaciones simplificado



ANEXO III

MTG201

Depósito ACS aerotermia
Interacumulador para bomba de calor

Características Técnicas

- Acumulador para bomba de calor fabricado en acero inoxidable F18MT.
- Aislamiento de poliuretano inyectado.
- Preparado para resistir la acción combinada del agua sanitaria (de características según normativa vigente) a 60°C y del cloro disuelto en la misma.
- Termostato de seguridad.
- Válvula de seguridad.

REFERENCIA	MTG-201		
Capacidad	200	L	
Resistencia de titanio	3000	W	
Superficie intercambio	2,2	m ²	
Tensión	230 V~		
Frecuencia	50-60	Hz	
Diámetro	560	mm	
Altura	1610	mm	
Color	Blanco		
Perdida energética	61	W	
Presión máxima serpentín	8	bar	
Presión máxima depósito ACS	6	bar	
Peso	71	kg	
Tª máxima serpentín	90	°C	
Tª máxima operación	90	°C	
Potencia serpentín a 70°C	61	kW	
	1512	l/h	
Potencia serpentín a 50°C	28	kW	
	700	l/h	
Pérdida de carga	caudal 1 m ³ /h	0,29	mca
	caudal 3 m ³ /h	2,58	mca
	caudal 5 m ³ /h	7,16	mca
Salida ACS	¾"		
Válvula de seguridad	½"		
Entrada agua fría	¾"		
Sondas de temperatura	½"		
Ida circuito primario	¾"		
Retorno circuito primario	¾"		
Kit eléctrico	1/ ½"		
Código interno	96200201		
EAN13	8432336935022		

