



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL

Autor: Javier Ángel Ros Martín

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Diciembre de 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título **PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **7º** 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.: **Javier Ángel Ros Martín**

Fecha: 01/12/2023

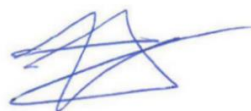


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: **Íñigo Sanz Fernández**

Fecha: 01/12/2023





COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL

Autor: Javier Ángel Ros Martín

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Diciembre de 2023

PROYECTO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL

Autor: **Ros Martín, Javier Ángel.**

Director: Sanz Fernández, Íñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

- *Introducción*

El proyecto que es objeto de estudio nace dos años atrás mediante la realización del TFG, con la motivación de renovar energéticamente un chalé residencial de 500 m² ubicado en la urbanización de Montepíncipe. Ante una visible falta de confort y unos gastos energéticos – y, por tanto, económicos – disparatados en el inmueble, el principal objetivo es encontrar una solución a dichos problemas en consonancia con el desarrollo sostenible y los últimos avances de la técnica.

Tras un primer estudio de los problemas más apremiantes, durante el TFG se propusieron una serie de medidas encaminadas a resolver los problemas relacionados con el bombeo de agua caliente y con la instalación de calefacción. Aunque dichas propuestas cumplieran con los objetivos propuestos – suponían un gran ahorro y aumento del confort y estaban en consonancia con las nuevas tecnologías y el desarrollo sostenible – y han seguido estando presentes durante la realización de este TFM, éstas fueron pensadas desde un punto de vista cortoplacista, práctico y eficaz. Es decir, se detectaban problemas concretos en las instalaciones estudiadas y, tras un análisis preciso, se elegía una alternativa viable que sirviera como reemplazo.

De este modo y visto que, dos años más tarde, las propuestas todavía no han sido llevadas a cabo, se decide comenzar este TFM a modo de continuación y revisión de lo realizado en el TFG dos años atrás. En este nuevo trabajo, sin embargo, se cambia por completo la metodología utilizada dos años atrás.

- *Metodología*

Mientras que en el TFG se ponía el foco en los diversos problemas que presentaban diferentes instalaciones de la vivienda por separado, en este TFM se pretende crear una solución energética íntegra para el inmueble que sea capaz de aumentar el confort y rebajar el gasto energético. Para llegar a la solución óptima, se ha decidido crear diferentes escenarios energéticos y dividir el trabajo en dos partes bien diferenciadas, cada una con sus propios hitos y objetivos medibles. Por un lado, se pretende diseñar de cero una instalación de climatización que incluya refrigeración (inexistente en la vivienda hasta el momento), calefacción y ACS, y, por el otro, se busca diseñar una instalación solar fotovoltaica en el tejado de la vivienda que rebaje el gasto eléctrico y permita aprovechar las sinergias con la instalación de climatización previamente diseñada. Por último, se analizan los resultados de cada uno de los escenarios y se elige el más adecuado y viable para el chalé ubicado en Montepíncipe.

- ***Diseño de escenarios para la climatización de la vivienda***

Aunque durante el TFG ya se habían propuesto medidas en los ámbitos de calefacción y ACS, el objetivo de este apartado es diseñar de cero tres escenarios de climatización que engloben de manera exhaustiva todos los componentes necesarios en una instalación: Refrigeración, calefacción, ACS, e incluso los aislamientos.

Dado que se pretende crear escenarios que fueran, a la vez, rentables y alineados con el desarrollo sostenible, el primer hito consiste en realizar una buena revisión del estado del arte que permita avalar inicialmente dichos escenarios. Tras una extensa revisión, en la que se explican todas las tecnologías disponibles y sus accesorios, se llega a la conclusión de que son tres los escenarios que forman parte de este trabajo:

- **Escenario I:** Climatización íntegra de **aerothermia** con suelo radiante.
- **Escenario II:** Caldera de **biomasa** con radiadores y aire acondicionado por **aerothermia**.
- **Escenario III:** Climatización íntegra de **geothermia** con radiadores.

Para poder asegurar confort y ahorro y, a la vez, que la decisión final esté basada, tanto en observaciones cualitativas, como cuantitativas, se ha seguido un proceso de dimensionamiento muy parecido para cada uno de los tres escenarios:

1. Descripción exacta del funcionamiento de cada escenario para entender el funcionamiento de la tecnología y sus últimos avances.
2. Explicación de los componentes claves a dimensionar dentro del escenario y sus funciones, con los esquemas más representativos.
3. Lista de ventajas e inconvenientes que muestra, a priori, cada una de las combinaciones elegidas.
4. Dimensionado de los equipos más importantes que formarán parte de la instalación conforme a lo establecido en el RITE y expertos en la materia. En la mayoría de los casos se trata de umbrales máximos y mínimos de potencia útil que deben ser capaces de transmitir
5. Búsqueda de posibles empresas y fabricantes de equipos y aparatos que cumplen con el dimensionamiento a través de Internet.
6. Visita de los expertos enviados por las empresas contactadas para corroborar la corrección del dimensionamiento y ofrecer presupuestos íntegros que incluyen, aparte de los equipos más importantes, todos los accesorios necesarios en cualquier instalación y que no han sido cubiertos durante este TFM.
7. Elección del presupuesto (o combinación de ellos) más adecuado en cada escenario, ya sea por temas económicos o de similitud con el dimensionado realizado en este trabajo.

8. Resumen de la elección, explicando y detallando, por un lado, los componentes y configuraciones exactas dentro de la vivienda objeto de estudios y, por el otro, el presupuesto exacto.
9. Realización de los perfiles demanda esperada en cada escenario utilizando los datos exactos de los componentes. Estos datos han sido utilizados, tanto para el dimensionamiento fotovoltaico, como para el cálculo de los descuentos de flujos de caja.

- *Diseño de la instalación fotovoltaica*

En apartado fotovoltaico se divide en dos hitos diferentes. En el primero de ellos, se introduce y contextualiza de manera extensa este tipo de energía hoy en día. En primer lugar, se define y se explica su funcionamiento. Posteriormente, se demuestra su importancia y su creciente repercusión, tanto a nivel nacional, como internacional. Por último, se expone una lista de pros y contras de esta tecnología en la se ve claramente como sus beneficios superan de manera sobrada sus desventajas.

El segundo de los hitos consiste en el diseño en sí de la instalación para cada uno de los escenarios de climatización. Para llevar a cabo dicho diseño, el primer paso consiste en comprobar la viabilidad de la instalación para el tejado. Aparte de haberse realizado un estudio de las características del tejado en cuestión de inclinación, orientación y adecuación para albergar una instalación solar fotovoltaica, se ha recibido la visita por parte de expertos que así lo han ratificado. Posteriormente, se ha dimensionado cada uno de los escenarios por separado aplicando la metodología del IDAE para el cálculo de instalaciones conectadas a red y obteniendo datos de irradiación catalogados por la Unión Europea (PVGIS)

Además, dicho dimensionamiento se ha optimizado en base a asegurar la máxima rentabilidad futura en cada caso, minimizando el gasto eléctrico en relación con la inversión realizada. De este modo, los resultados muestran que el hecho de poner placas solares es muy rentable en todos los escenarios, consiguiendo paybacks de 3 años y TIRs superiores al 30% en todos los escenarios. De hecho, sería rentable incluso para la vivienda actual en caso de que se decidiera no realizar cambios en la parte de climatización.

- **Resultados obtenidos**

	Escenario I	Escenario II	Escenario III
<i>Nombre del escenario</i>	Aeroterminia con suelo radiante	Biomasa con radiadores y aeroterminia por conductos	Geoterminia vertical con radiadores
<i>Instalación FV</i>	13,44 kW	11,04 kW	12,48 kW
<i>Presupuesto</i>	110.743,97 €	96.868,13 €	102.108,70 €
<i>Ahorro energético (€)</i>	71,98%	51,22%	74,55%
<i>Coste normalizado</i>	88,67 €/MWh	98,90 €/MWh	80,39 €/MWh
<i>TIR Inversión</i>	8,8%	6,3%	9,9%

- **Conclusiones y elección**

En conclusión, aunque cualquiera de los escenarios es realizable y supone ahorro y confort al mismo tiempo, la realidad es que hay uno de los escenarios que resalta por encima del resto. El Escenario III es el escenario que mejores rendimientos muestra, mostrando un ahorro de aproximadamente un 75%, que está muy por encima de las expectativas. De este modo, la solución elegida para la vivienda consiste en implantar un sistema de geoterminia vertical con cuatro perforaciones de 120 m unido a un circuito de tuberías con agua capaz de aportar calefacción, ACS y refrigeración al mismo tiempo. Además, se introducirán una serie de cambios en los aislamientos de la vivienda y una instalación de paneles solares fotovoltaicos en el tejado de la vivienda compuesta por 26 módulos y 2 inversores.

La parte fotovoltaica es bastante parecida en todos los escenarios, siendo en todos los casos muy rentable y recomendable para la vivienda, incluso aunque no se llevarán a cabo las medidas en climatización. Por tanto, la decisión más importante y que mueve la aguja en este caso es la parte de climatización.

Aunque a priori la solución geotérmica se caracteriza por ser la más eficiente y limpia en cuestiones de climatización de viviendas unifamiliares, la inversión a realizar y las características del terreno suelen ser los inconvenientes más repetidos a la hora de decantarse por este tipo de tecnología. No obstante, la vivienda objeto de estudio tiene las características ideales para albergar este tipo de climatización por tres razones principalmente:

- **Tipo de terreno.** Debido a la gran cantidad de espacio que existe en la vivienda y a los estudios geológicos realizados, la vivienda es ideal para albergar un sistema de geoterminia vertical, que es la solución más eficiente de todo el mercado.
- **Contexto de la vivienda:** Aunque se trata de una solución íntegra muy cara, se trata de una inversión necesaria debido a que no solo se trata de un tema de ahorro, sino de confort y necesidad. Al fin y al cabo, la refrigeración, los aislamientos y los cambios puntuales en las instalaciones por temas de antigüedad son un gasto, más que una inversión. Es por esta razón por la que cualquiera de las opciones

Javier Ros Martín
RESUMEN DEL PROYECTO

supone un desembolso de dinero muy grande. De este modo, las diferencias porcentuales de precio entre los diferentes escenarios no son demasiado significativas, dándole aún más importancia al ahorro energético.

- **Características del sistema de climatización existente:** La configuración actual con radiadores hace que cualquier tecnología que requiera de suelo radiante sea demasiado cara para la vivienda, por tanto, la opción de aerotermia está descartada. Por otro lado, el hecho de que no haya una preinstalación de aire acondicionado hace que la opción de biomasa también requiera de mucho Capex. De esta manera, la geotermia es la opción ideal, dado que es capaz de casar con los radiadores y aportar calor y frío a través de ellos.

En resumidas cuentas, se juntan una serie de ingredientes que hacen que el Escenario III sea el ideal para la vivienda. Aunque no se trata del escenario más barato, las diferencias no son significativas (tampoco es el más caro) y, por lo demás, se trata del escenario que más ahorro energético como económico genera

Javier Ros Martín
RESUMEN DEL PROYECTO

ENERGETIC AND ECONOMIC OPTIMIZATION PROJECT FOR A RESIDENTIAL HOME

Author: **Ros Martín, Javier Ángel.**

Director: Sanz Fernández, Íñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

- *Introduction*

The project under study was originated two years ago with the completion of the Undergraduate Thesis (UT). This project was motivated by the need to energetically renovate a 500 m² residential home located in Montepíncipe urbanization, in Madrid, Spain. Faced with visible discomfort and exorbitant energy expenses—and therefore, economic costs—in the property, the main objective is to find a solution to these problems in line with sustainable development and the latest technological advances.

After an initial study of the most pressing issues, a series of measures were proposed during the UT to address problems related to hot water pumping and heating. Although these proposals met the objectives proposed – resulting in significant savings, increased comfort, and alignment with new technologies and sustainable development—they were conceived from a short-term, practical, and efficient perspective. In other words, specific problems in the studied installations were identified, and after a precise analysis, a viable alternative was chosen as a replacement.

However, given that two years later, the proposals have not been implemented, it was decided to start this Master's Thesis as a continuation and revision of the work done in the UT. In this new work, the methodology used two years ago has completely changed.

- *Methodology*

While the UT focused on various problems presented by different installations in the house separately, this Master's Thesis aims to create a comprehensive energy solution for the property that can increase comfort and reduce energy expenditure.

To reach the optimal solution, it was decided to create different energy scenarios and divide the work into two distinct parts, each with its own milestones and measurable objectives. On the one hand, the goal is to design from scratch a HVAC system that includes cooling (absent in the house until now), heating, and domestic hot water (DHW). On the other hand, the objective is to design a photovoltaic solar installation on the roof to reduce electricity costs and take advantage of synergies with the previously designed HVAC system. Finally, the results of each scenario are analyzed, and the most suitable and viable one for the chalet located in Montepíncipe is chosen.

- *Design of scenarios for the HVAC system*

Although measures had already been proposed in the areas of heating and DHW during the UT, the goal of this section is to design three HVAC scenarios from scratch that comprehensively encompass all the necessary components in an installation: Cooling, heating, DHW, and even insulation. Since the aim is to create scenarios that are both cost-effective and aligned with sustainable development, the first milestone is to conduct a thorough review of the state of the art to initially support these scenarios. After an extensive review, explaining all available technologies and their accessories, it is concluded that three scenarios are part of this work:

- **Scenario I:** Comprehensive air conditioning with **aerothermal** underfloor heating.
- **Scenario II:** Biomass boiler with radiators and air conditioning by **aerothermal** ducts.
- **Scenario III:** Comprehensive **geothermal** HVAC system with radiators.

To ensure comfort and savings and, at the same time, that the final decision is based on both qualitative and quantitative observations, a very similar sizing process has been followed for each of the three scenarios:

1. Exact description of the operation of each scenario to understand the operation of the technology and its latest advances.
2. Explanation of the key components to be sized within the scenario and their functions, with the most representative diagrams.
3. List of advantages and disadvantages on each of the chosen combinations.
4. Sizing of the most important equipment that will be part of the installation in accordance with the RITE (Spanish Thermal Installation Regulation) and experts in the field. In most cases, these are maximum and minimum useful power thresholds that must be able to be transmitted.
5. Search for possible companies and manufacturers of equipment and devices that comply with sizing.
6. Visit by experts sent by the contacted companies to verify the correctness of the sizing and provide complete quotes that include, in addition to the most important equipment, all the accessories necessary in any installation and that have not been covered during this Master's Thesis.
7. Choice of the most suitable budget (or combination of them) in each scenario, either for economic reasons or similarity to the sizing carried out in this work.
8. Summary of the choice, explaining and detailing, on the one hand, the exact components and configurations within the studied house and, on the other hand, the exact budget.

9. Development of expected demand profiles in each scenario using the exact data from the components. This data has been used both for photovoltaic sizing and for the calculation of cash flow discounts.

- *Design of the Photovoltaic Installation*

The photovoltaic section is divided into two different milestones. In the first one, this type of energy today is introduced and contextualized extensively. First, its operation is defined and explained. Subsequently, its importance and growing impact, both nationally and internationally, is demonstrated. Finally, a list of pros and cons of this technology is presented, where its benefits clearly outweigh its disadvantages.

The second milestone consists of the design of the installation for each of the HVAC scenarios. To carry out this design, the first step is to check the feasibility of the installation for the roof. In addition to studying the characteristics of the roof in terms of inclination, orientation, and suitability to accommodate a photovoltaic solar installation, experts have ratified its feasibility after analyzing the property. Subsequently, each of the scenarios has been sized separately applying the IDAE (Institute for the Diversification and Saving of Energy) methodology for the calculation of grid-connected installations and obtaining irradiation data classified by the European Union (PVGIS).

Furthermore, this sizing has been optimized based on ensuring maximum future profitability in each case, minimizing electricity expenditure in relation to the investment made. Thus, the results show that installing solar panels is very profitable in all scenarios, achieving paybacks of 3 years and Internal Rates of Return (IRR) exceeding 30% in all scenarios. In fact, it would be profitable even for the current house if it were decided not to make changes to the HVAC system.

- *Results*

	Scenario I	Scenario II	Scenario III
<i>Scenario name</i>	Aeroterminia con suelo radiante	Biomasa con radiadores y aeroterminia por conductos	Geoterminia vertical con radiadores
<i>PV Installation</i>	13,44 kW	11,04 kW	12,48 kW
<i>Budget</i>	110.743,97 €	96.868,13 €	102.108,70 €
<i>Energy savings (€)</i>	71,98%	51,22%	74,55%
<i>Levelized cost</i>	88,67 €/MWh	98,90 €/MWh	80,39 €/MWh
<i>IRR of the investment</i>	8,8%	6,3%	9,9%

- ***Conclusions and Choice***

In conclusion, while any of the scenarios is achievable and provides both savings and comfort simultaneously, the reality is that one scenario stands out above the rest. Scenario III is the one that demonstrates the best performance, showing savings of approximately 75%, well above expectations. Thus, the chosen solution for the house involves implementing a vertical geothermal system with four 120 m boreholes connected to a water pipe circuit capable of providing heating, Domestic Hot Water (DHW), and cooling simultaneously. Additionally, a series of changes in the insulation of the house and an installation of photovoltaic solar panels on the roof consisting of 26 modules and 2 inverters will be introduced.

The photovoltaic part is quite similar in all scenarios, being very profitable and recommended for the house in all cases, even if no HVAC measures were implemented. Therefore, the most important decision in this case is the air conditioning part. Although, initially, the geothermal solution was characterized as the most efficient and clean for heating and cooling single-family homes, the investment and land characteristics are often cited as recurring drawbacks when opting for this technology. However, the studied house has the ideal characteristics to accommodate this type of HVAC system for three main reasons:

- **Type of terrain:** Due to the ample space available in the house and geological studies conducted, the house is ideal for hosting a vertical geothermal system, which is the most efficient solution in the market.
- **Housing context:** Despite being a comprehensive and expensive solution, it is a necessary investment because it is not just about savings but also about comfort and necessity. After all, cooling, insulation, and specific changes in installations due to aging are more of an expense than an investment. This is why any of the options represents a significant financial commitment. Thus, the percentage differences in price between different scenarios are not too significant, giving even more importance to energy savings.
- **Characteristics of the existing air conditioning system:** The current configuration with radiators makes any technology requiring underfloor heating too expensive for the house; therefore, the option of aérothermal is ruled out. On the other hand, the absence of a pre-installed air conditioning system makes the biomass option also require a significant capital expenditure. In this way, geothermal is the ideal option, as it can integrate with the radiators and provide both heating and cooling through them.

In summary, a combination of factors makes Scenario III the ideal choice for the house. Although it is not the cheapest scenario, the differences are not significant (nor is it the most expensive), and, moreover, it is the scenario that generates the most energy and economic saving.

ÍNDICE DEL TRABAJO

DOCUMENTO 1) MEMORIA

DOCUMENTO 2) PRESUPUESTO

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Croquis en planta y en 3D de la primera planta (a la izquierda) y de la segunda planta (a la derecha). (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	48
Ilustración 2. Fachada de la vivienda en su orientación sur. (Fuente: Elaboración propia).....	49
Ilustración 3. Consumo de agua (en m ³) de sept-21 hasta sept-22. (Fuente: Elaboración propia).....	51
Ilustración 4. Perfil de consumo mensual de gas en la vivienda, (Fuente: Elaboración propia).....	53
Ilustración 5. Consumo mensual de electricidad a lo largo del año (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	55
Ilustración 6. Diagrama de barras del gasto energético total. (Fuente: TFG).....	60
Ilustración 7. Proporción del presupuesto invertida en cada ámbito de actuación. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)	63
Ilustración 8. Diagrama de barras revisado sobre el consumo de gas natural. (Fuente: Elaboración propia)	65
Ilustración 9. Sistema de calefacción convencional. (Fuente: Grupo Alzado)	69
Ilustración 10. Calefacción por suelo radiante (a) vs por radiadores (b). (Fuente: alpinocl).....	72
Ilustración 11. Ciclo de Rankine Inverso (Fuente: Asignatura de Ingeniería Energética. ICAI).....	73
Ilustración 12. Sistema multisplit. (Fuente: OCU)	74
Ilustración 13. Aire acondicionado por conductos. (Fuente: OCU)	75
Ilustración 14. Bomba de calor reversible. (Fuente: Sánchez Inocencio, I.)	76
Ilustración 15. Diagrama de Sankey del funcionamiento de una bomba de calor reversible. (Fuente: Monasterio et al.).....	76
Ilustración 16. Esquema de dimensionamiento de los escenarios. (Fuente: Elaboración propia).....	83
Ilustración 17. Funcionamiento de una bomba de Calor. (Fuente: Grupo Visiona)	84
Ilustración 18. Rendimiento de la aerotermia (COP) a diferentes temperaturas del agua. (Fuente: Martínez, O. vía preciogas)	85
Ilustración 19. Esquema de la instalación de aerotermia. (Fuente: Martínez O. vía preciogas).....	86
Ilustración 20. Unidades de una bomba de calor aire-agua. (Fuente: Expertclima)	86
Ilustración 21. Ejemplo de conexión de colectores en una vivienda. (Fuente: González Sierra)	96
Ilustración 22. Sección del suelo radiante. (Fuente: González Sierra)	97
Ilustración 23. Tabla a-Anejo F del DB HE4 sobre valores mínimos de ocupación para el cálculo del volumen de acumulación de ACS. (Fuente: Código Técnico de Edificación)	98
Ilustración 24. Bomba de calor Monoblocco R32 de Mitsui. (Fuente: Mitsui)	99
Ilustración 25. Suelo radiante GRAFLIPAC. (Fuente: ESAK)	101
Ilustración 26. Ciclo de la biomasa. (Fuente: Grupo Visiona).....	105
Ilustración 27. Pellets. (Fuente: Jotul)	105

Ilustración 28. Esquema de funcionamiento de una caldera de biomasa. (Fuente: www.unendlich-viel-energie.de)	107
Ilustración 29. Caldera Automatik de 48 kW. (Fuente: KalorStufe)	110
Ilustración 30. Caldera de pellets Smart-PK 32 (Fuente: Hargassner)	112
Ilustración 31. Esquema de la instalación de biomasa propuesta (Fuente: Hargassner)	112
Ilustración 32. Silo textil GWT-MAX 160x200 (Fuente; Hargassner)	114
Ilustración 33. Depósito Domusa DUO 750/100 (Fuente: Domusa Technik).....	116
Ilustración 34. Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32. (Fuente: Hargassner)	117
Ilustración 35. Radiador de aluminio EUROPA C. (Fuente: Ferroli).....	119
Ilustración 36. Esquema de una instalación de aire acondicionado. (Fuente: comofuncionaque)	124
Ilustración 37. Rejillas de aire acondicionado. (Fuente: Bropro)	129
Ilustración 38. Unidades interior y exterior de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)	129
Ilustración 39. Ubicaciones exactas de las unidades interiores de la bomba de calor en la primera planta. (Fuente: Elaboración propia)	130
Ilustración 40. Ubicaciones exactas de las unidades interiores de la bomba de calor en la segunda planta. (Fuente: Elaboración propia)	130
Ilustración 41. Geotermia en verano (izquierda) y en invierno (derecha). (Fuente: Hogarsense)	133
Ilustración 42. Áreas geotérmicas en España. (Fuente: Instituto Geológico y Minero de España)	134
Ilustración 43. Geotermia vertical y horizontal. (Fuente: Gutiérrez, 21).....	135
Ilustración 44. Esquema de una instalación de geotermia. (Fuente: BioEnercan).....	136
Ilustración 45. Bomba de calor geotérmica. (Fuente: Claussius)	141
Ilustración 46. Gráfica de la temperatura del terreno en función de su profundidad. (Fuente: GeoIntegral)	143
Ilustración 47. Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: Ibaiondo).....	144
Ilustración 48. Perfiles de consumo mensual de gas en la vivienda (kWh). (Fuente: Elaboración propia a partir de las facturas reales de la vivienda)	151
Ilustración 49. Perfiles de consumo mensual de luz en la vivienda (kWh). (Fuente: Elaboración propia a partir de las facturas reales de la vivienda)	152
Ilustración 50. Energía entregada en refrigeración en la vivienda (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	154
Ilustración 51. Perfil I del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	156
Ilustración 52. Perfil II del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	156
Ilustración 53. Perfil I del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	158
Ilustración 54. Perfil II del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	158
Ilustración 55. Perfil I del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	160
Ilustración 56. Perfil II del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	160
Ilustración 57. Tipos de radiación solar. (Fuente: El Foro Verde)	162
Ilustración 58. Esquema básico de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red. (Fuente: SocialEnergy)	163
Ilustración 59. Cartografía de la radiación solar mundial. (Fuente: Global Solar Atlas)	164

Ilustración 60. Mix energético de generación de electricidad en España. (Fuente: REE)	165
Ilustración 61. Vista en planta de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia vía Google Earth)	169
Ilustración 62. Celda solar vs panel fotovoltaico. (Fuente: Iberdrola)	171
Ilustración 63. Aspecto de un inversor solar. (Fuente: PNI)	174
Ilustración 64. Instalación fotovoltaica con baterías de almacenamiento. (Fuente: AreaTecnología)	175
Ilustración 65. Módulo fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)	177
Ilustración 66. Gráfica de degradación lineal de potencia de los módulos fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)	177
Ilustración 67. Inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda) ...	178
Ilustración 68. Previsiones de consumo eléctrico (kWh) en cada uno de los escenarios. (Fuente: Elaboración propia)	181
Ilustración 69. Representación del ángulo de inclinación (Fig.1) y del ángulo azimutal (Fig.2) de los paneles solares fotovoltaicos. (Fuente: IDAE)	182
Ilustración 70. Gráfica de amortización del Escenario 0 del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	196
Ilustración 71. Output energético anual del Escenario 0 del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	198
Ilustración 72. Gráfica de amortización del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	201
Ilustración 73. Output energético anual del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	203
Ilustración 74. Gráfica de amortización del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	206
Ilustración 75. Output energético anual del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	208
Ilustración 76. Gráfica de amortización del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	211
Ilustración 77. Output energético anual del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	213
Ilustración 78. Bomba Monoblocco R32 e Interacumulador ACS (Fuente: Mitsui y Baxi)	216
Ilustración 79. Suelo radiante GRAFLIPAC y bomba Grundfos Magna1. (Fuente: ESAK)	217
Ilustración 80. Esquema e imagen de la bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Grundfos)	217
Ilustración 81. Módulo fotovoltaicos Exiom e Inversores fotovoltaicos SAJ. (Fuente: Salvador Escoda)	217
Ilustración 82. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)	218
Ilustración 83. Presupuesto parcial del Escenario I (Fuente: Elaboración propia)	218
Ilustración 84. Ahorro en calefacción del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	220
Ilustración 85. Perfil de consumo de electricidad desglosado en el Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	221

Ilustración 86. Producción vs demanda total de electricidad en el Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	222
Ilustración 87. Consumo de la red vs excedentes de electricidad en el Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	222
Ilustración 88. Gráfica de amortización del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	229
Ilustración 89. Gráfica de amortización del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	232
Ilustración 90. Caldera de pellets Smart-PK 32, Depósito Domusa DUO 750/100, Silo textil GWT-Max 160x200 y Módulo Básico hidráulico IHM Nano – PK 20-32 (Fuente: Hargassner).....	233
Ilustración 91. Radiadores Ferroli EUROPA C. (Fuente: Ferroli)	234
Ilustración 92. Unidades interior y exterior de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)	235
Ilustración 93. Módulos fotovoltaicos Exiom e Inversores fotovoltaicos SAJ. (Fuente: Salvador Escoda)	235
Ilustración 94. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)	235
Ilustración 95. Presupuesto parcial del Escenario II (Fuente: Elaboración propia)....	237
Ilustración 96. Ahorro en calefacción del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	238
Ilustración 97. Perfil de consumo de electricidad, de biomasa y conjunto en el Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	239
Ilustración 98. Producción vs demanda total de electricidad en el Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	240
Ilustración 99. Consumo de la red vs excedentes de electricidad en el Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	241
Ilustración 100. Gráfica de amortización del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	247
Ilustración 101. Gráfica de amortización del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	250
Ilustración 102. Bomba de calor geotérmica Claussius Classic y Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: GeoIntegral)	251
Ilustración 103. Radiadores Ferroli EUROPA C. (Fuente: Ferroli)	251
Ilustración 104. Interacumulador ACS Baxi 300 L y bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Baxi y Grundfos).....	252
Ilustración 105. Módulo fotovoltaicos Exiom e Inversores fotovoltaicos SAJ. (Fuente: Salvador Escoda)	252
Ilustración 106. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)	252
Ilustración 107. Presupuesto parcial del Escenario III (Fuente: Elaboración propia)	254
Ilustración 108. Ahorro en calefacción del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	255
Ilustración 109. Perfil de consumo de electricidad en el Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	256
Ilustración 110. Producción vs demanda total de electricidad en el Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	257
Ilustración 111. Consumo de la red vs excedentes de electricidad en el Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	257

Ilustración 112. Gráfica de amortización del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia).....	263
Ilustración 113. Gráfica de amortización del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	266
Ilustración 114. Perfil de consumo de calefacción en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	270
Ilustración 115. Perfil de consumo de refrigeración en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	271
Ilustración 116. Perfil de consumo energético total en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	272
Ilustración 117. Perfil de consumo eléctrico total en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	273
Ilustración 118. Perfil de producción eléctrica en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	274
Ilustración 119. Perfil de demanda no satisfecha en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	275
Ilustración 120. Perfil de exceso de producción en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	276
Ilustración 121. Gráficas de amortización de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia).....	278
Ilustración 122. Costes normalizados de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia).....	279
Ilustración 123. Imagen del plano original del Sótano. (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez).....	297
Ilustración 124. Imagen del plano original de la Primera Planta (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez).....	298
Ilustración 125. Imagen del plano original de la Segunda Planta (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez).....	299
Ilustración 126. Imagen del plano original de la vista en planta del terreno. (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez).....	300
Ilustración 127. Croquis de la Primera Planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)....	301
Ilustración 128. Imagen 1 del croquis en 3D de la primera planta. Referencia situada en el recibidor. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	302
Ilustración 129. Imagen 2 del croquis en 3D de la primera planta. Referencia situada en las escaleras del pasillo (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	303
Ilustración 130. Croquis de la Segunda Planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado) ..	304
Ilustración 131. Imagen 1 del croquis en 3D de la segunda planta. Referencia localizada en la habitación 4. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	305
Ilustración 132. Imagen 2 del croquis en 3D de la segunda planta. Referencia localizada en la habitación 7. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	306
Ilustración 133. Vista en Planta de la casa con los principales puntos del sistema hidráulico. (Fuente: Google Earth).....	307
Ilustración 134. Zonas verdes de la parcela. (Fuente: Elaboración Propia).....	308
Ilustración 135. Zonas del terreno sin aprovechar. (Fuente: Elaboración Propia).....	308
Ilustración 136. La piscina (14x6m). (Fuente: Elaboración propia).....	308
Ilustración 137. Imágenes exteriores de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)...	309

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

Ilustración 138. Imagen exterior del cuarto de calderas. En la parte derecha de la fotografía aparecen los antiguos depósitos de gasoil. (Fuente: Elaboración propia) ...	310
Ilustración 139. El cuarto de calderas por dentro. (Fuente: Elaboración propia)	310
Ilustración 140. Entrada de la red de agua caliente en la vivienda desde el cuarto de calderas. (Fuente: Elaboración propia)	310
Ilustración 141. Estado de las tuberías de cobre. Algunos puntos de la instalación presentan alto grado de corrosión. (Fuente: Elaboración propia).....	311
Ilustración 142. Radiadores de hierro fundido. (Fuente:Elaboración propia).....	311
Ilustración 143. Comparativa de una ventana antigua con una nueva. (Fuente: Elaboración propia)	312
Ilustración 144. Perfil de madera perjudicado. (Fuente: Elaboración propia).....	312
Ilustración 145. Persianas de plástico. (Fuente: Elaboración propia)	312
Ilustración 146. Paredes exteriores gruesas de ladrillo. (Fuente: Elaboración propia)	313
Ilustración 147. Esquema del circuito que une la caldera y el depósito. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)	315
Ilustración 148. Esquema del circuito de calefacción. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	316
Ilustración 149. Esquema del circuito ACS. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)	317
Ilustración 150. Cálculo de la Longitud inicial a partir de los planos originales. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)	318
Ilustración 151. Tuberías de agua caliente sanitaria por la primera planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	319
Ilustración 152. Tuberías de agua caliente sanitaria por la primera planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	319
Ilustración 153. Bomba Wilo LARS 25/6 (Fuente: Elaboración propia)	321
Ilustración 154. Gráfica de la bomba Wilo-Star-Z (Fuente: Wilo).....	321
Ilustración 155. Caldera Ferroli GN1 05 (Fuente: Elaboración propia)	322
Ilustración 156. Curva de pérdidas de carga de la caldera Ferroli GN1 05 (Fuente: Ferroli)	322
Ilustración 157. Quemador Lamborghini EM 6-E (Fuente: Elaboración propia).....	323
Ilustración 158. Interacumulador Roca Inoxidable 300 (Fuente: Elaboración Propia)	324
Ilustración 159. Esquema de instalación del Interacumulador Roca Inoxidable 300 (Fuente: Elaboración Propia).....	324
Ilustración 160. Esquema e imagen de la Bomba Grundfos UPS 25-80 180 (Fuente: Grundfos).....	325
Ilustración 161. Gráficas de la Bomba Grundfos UPS 25-80 180 (Fuente: Grundfos)	325
Ilustración 162. Radiadores Baxi Roca de hierro fundido. (Fuente: Elaboración Propia)	326
Ilustración 163 . Datos de los radiadores actuales. (Fuente: Baxi)	326
Ilustración 164. Esquema e imagen de la Bomba Grundfos COMFORT. (Fuente: Grundfos).....	327
Ilustración 165. Gráficas de la Bomba Grundfos COMFORT. (Fuente: Grundfos)...	327
Ilustración 166. Radiadores Ferroli EUROPA C. (Fuente: Ferroli)	328
Ilustración 167. Tabla de características de los radiadores Ferroli EUROPA C. (Fuente: Ferroli).....	328

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

Ilustración 168. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)	329
Ilustración 169. Tabla de propiedades del Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)	329
Ilustración 170. Esquema e imagen de la bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Grundfos).....	330
Ilustración 171. Gráficas de la bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Grundfos)....	330
Ilustración 172. Esquema e imagen de la bomba Grundfos Magna3. (Fuente: Grundfos)	331
Ilustración 173. Gráfica de la bomba Grundfos Magna3. (Fuente: Grundfos)	331
Ilustración 174. Bomba de calor Monoblocco R32 (Fuente: Mitsui)	332
Ilustración 175. Propiedades de la bomba de calor Monoblocco R32 (Fuente: Mitsui)	332
Ilustración 176. Interacumulador ACS Baxi (Fuente: Baxi).....	333
Ilustración 177. Tabla de propiedades del interacumulador ACS Baxi (Fuente: Baxi)	333
Ilustración 178. Suelo radiante GRAFLIPAC. (Fuente: ESAK)	334
Ilustración 179. Esquema e imagen de la bomba Grundfos Magna1. (Fuente: Grundfos)	335
Ilustración 180. Gráfica de la bomba Grundfos Magna1. (Fuente: Grundfos)	335
Ilustración 181. Caldera de pellets Automatik de 48 kW (Fuente: KalorStufe)	336
Ilustración 182. Propiedades de la caldera Automatik 48 kW (Fuente: KalorStufe)..	336
Ilustración 183. Caldera de pellets Smart-PK 32 (Fuente: Hargassner)	337
Ilustración 184. Propiedades de la caldera Smart-PK 32. (Fuente Hargassner)	337
Ilustración 185. Depósito Domusa DUO 750/100 (Fuente: Domusa Technik).....	338
Ilustración 186. Propiedades del depósito Domusa BT DUO 750. (Fuente Domusa Technik).....	338
Ilustración 187. Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32. (Fuente: Hargassner)	339
Ilustración 188. Propiedades del depósito Domusa BT DUO 750. (Fuente Domusa Technik).....	339
Ilustración 189. Unidades interior y exterior de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)	340
Ilustración 190. Tabla de propiedades de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW).....	340
Ilustración 191. Bomba de calor geotérmica Claussius Classic. (Fuente: Claussius). 341	
Ilustración 192. Propiedades de la Bomba de calor Claussius Classic. (Fuente: Claussius) Clausius Classic - Clausius	341
Ilustración 193. Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: Ibaiondo).....	342
Ilustración 194. Tabla de propiedades del depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: Ibaiondo)	342
Ilustración 195. Módulo fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda).....	343
Ilustración 196. Propiedades de los módulos fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)	343
Ilustración 197. Inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda) .	344
Ilustración 198. Precios del inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda)	344

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

Ilustración 199. Propiedades del inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda)	344
Ilustración 200. Factura de agua correspondiente al mes de Mayo 22. (Fuente: Urbanización de Montepíncipe)	345
Ilustración 201. Factura de gas correspondiente al período Nov21 - Ene22 (Fuente: Aldo Energía)	346
Ilustración 202. Factura de Electricidad correspondiente al período May22- Jun22 (Fuente: Plenitude)	346
Ilustración 203. Mapa de España dividido en zonas climáticas. (Fuente: Grupo Novelec).....	377
Ilustración 204. Tabla de potencia unitaria según distintos factores. (Fuente: Grupo Novelec).....	378
Ilustración 205. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Fuente: Naciones Unidas).....	380
Ilustración 206. Diagrama de sectores del presupuesto total del Escenario I (Fuente: Elaboración Propia)	417
Ilustración 207. Diagrama de sectores del presupuesto total del Escenario II (Fuente: Elaboración Propia)	418
Ilustración 208. Diagrama de sectores del presupuesto total del Escenario I (Fuente: Elaboración Propia)	419
Ilustración 209. Oferta real de la empresa García Tamayo por la compra de ventanas (Fuente: García Tamayo).....	424
Ilustración 210. Oferta real de la empresa Ecopel por la instalación fotovoltaica en el tejado de la vivienda. (Fuente: Ecopel)	426
Ilustración 211. Oferta real de la empresa Ecopel por Aerotermia con Suelo Radiante. (Fuente: Ecopel)	427
Ilustración 212. Oferta real de la empresa ESAK por la instalación de suelo radiante (Fuente: ESAK)	429
Ilustración 213. Oferta real de la empresa Hargassner por la caldera de biomasa con depósito de inercia y silo. (Fuente: Hargassner).....	430
Ilustración 214. Oferta real de la tienda CalorOnline por la compra de los radiadores. (Fuente: CalorOnline).....	431
Ilustración 215. Oferta real de la empresa Ecopel por la instalación y compra de Aerotermia por conductos. (Fuente: Ecopel).....	432
Ilustración 216. Oferta real de la empresa GeoIntegral por la instalación y compra del sistema de Geotermia en la vivienda. (Fuente: GeoIntegral)	434

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de gas natural desde Jul-21 hasta Jul-22. (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 2. Consumo de electricidad desde sep-21 hasta jul-22. (Fuente: Elaboración propia).....	54
Tabla 3. Resumen de las modificaciones en la red de calefacción. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	58
Tabla 4. Resumen de las modificaciones en aislamientos. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	59
Tabla 5. Resumen de las decisiones tomadas en el ámbito del bombeo. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	62
Tabla 6. Resumen del desembolso realizado (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	63
Tabla 7. Consumo de gas natural a lo largo del año 21-22 agrupado de menor a mayor (Fuente: Elaboración propia).....	64
Tabla 8. Condiciones ideales de climatización. (Fuente: RITE)	68
Tabla 9. Resumen de los escenarios para la climatización. (Fuente: Elaboración propia)	82
Tabla 10. Dimensiones exactas de cada una de las estancias de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)	95
Tabla 11. Resumen de los cambios en la instalación de aerotermia. (Fuente: Elaboración propia)	103
Tabla 12. Resumen del cambio de los radiadores. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	120
Tabla 13. Resumen de los cambios en la instalación de biomasa. (Fuente: Elaboración propia).....	123
Tabla 14. Resumen de los cambios en la instalación de aire acondicionado por conductos. (Fuente: Elaboración propia).....	131
Tabla 15. Resumen de los cambios en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	132
Tabla 16. Resumen de los cambios en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	146
Tabla 17. Perfiles energéticos del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	155
Tabla 18. Perfiles energéticos del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)	157
Tabla 19. Perfiles energéticos del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia).....	159
Tabla 20. Tabla de precios y características del inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2. (Fuente: Salvador Escoda).....	179
Tabla 21. Media de Irradiancia mensual de los años 2018 a 2020 sobre superficie horizontal y sobre plano generador inclinado a 30°. (Fuente: PVGIS)	183
Tabla 22. Resumen de los gastos e ingresos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia).....	189
Tabla 23. WACC e inflación del proyecto. (Fuente: Elaboración propia)	190
Tabla 24. DCF de la instalación fotovoltaica los dos primeros años de vida útil. (Fuente: Elaboración propia)	190
Tabla 25. Relación del número de módulos con el tamaño del inversor. (Fuente: Elaboración propia)	192
Tabla 26. Cálculo de la potencia pico en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)	194

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 27. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)	195
Tabla 28. KPIs del Escenario 0 del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	196
Tabla 29. DCF para N = 15 en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia).....	197
Tabla 30. Cálculo de la potencia pico en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	199
Tabla 31. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	200
Tabla 32. KPIs del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	201
Tabla 33. DCF para N =28 en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	202
Tabla 34. Cálculo de la potencia pico en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	204
Tabla 35. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	205
Tabla 36. KPIs del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	206
Tabla 37. DCF para N = en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	207
Tabla 38. Cálculo de la potencia pico en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	209
Tabla 39. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	210
Tabla 40. KPIs del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	211
Tabla 41. DCF para N = en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia).....	212
Tabla 42. Resumen de los cambios en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)..	219
Tabla 43. Resumen de los cambios en materia energética del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	220
Tabla 44. Datos energéticos del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	221
Tabla 45. Cálculo del término de la tarifa eléctrica en el año 1 en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia).....	224
Tabla 46. DCF del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	226
Tabla 47. Coste normalizado del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia).....	230
Tabla 48. KPIs financieros del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia).....	232
Tabla 49. Resumen de los cambios en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	236
Tabla 50. Resumen de los cambios en materia energética del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	237
Tabla 51. Datos energéticos del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	240
Tabla 52. Cálculo del término de la tarifa eléctrica en el año 1 para el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia).....	242
Tabla 53. DCF del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia).....	244
Tabla 54. Coste normalizado del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia).....	248
Tabla 55. KPIs financieros del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	249
Tabla 56. Resumen de los cambios en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	253

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 57. Resumen de los cambios en materia energética del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	254
Tabla 58. Datos energéticos del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia).....	256
Tabla 59. Cálculo del término de la tarifa eléctrica en el año 1 para el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	258
Tabla 60. DCF del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia).....	260
Tabla 61. Coste normalizado del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	264
Tabla 62. KPIs financieros del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)	265
Tabla 63. Estado de las medidas del TFG en cada escenario. (Fuente: Elaboración propia).....	266
Tabla 64. Análisis comparativo de los cambios realizados en calefacción. (Fuente: Elaboración propia)	267
Tabla 65. Análisis comparativo de los cambios realizados en refrigeración. (Fuente: Elaboración propia)	268
Tabla 66. Análisis comparativo de las Instalación FV propuestas. (Fuente: Elaboración propia).....	268
Tabla 67. Análisis energético de los tres escenarios (datos anuales en kWh suponiendo utilización máxima en todos los escenarios). (Fuente: Elaboración propia)	269
Tabla 68. Análisis financiero de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia)....	277
Tabla 69. Resumen de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia)	284
Tabla 70. Resumen del dimensionamiento de las bombas hidráulicas durante el TFG. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)	347
Tabla 71. Dimensionamiento y presupuesto de los radiadores de la vivienda. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado).....	351
Tabla 72. Energía producida en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)	361
Tabla 73. Energía consumida por la red en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)	362
Tabla 74. Excedentes en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)	363
Tabla 75. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)	364
Tabla 76. Energía producida en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia).....	365
Tabla 77. Energía consumida por la red en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	366
Tabla 78. Excedentes en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	367
Tabla 79. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)	368
Tabla 80. Energía producida en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia).....	369
Tabla 81. Energía consumida por la red en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	370
Tabla 82. Excedentes en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia).....	371
Tabla 83. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)	372
Tabla 84. Energía producida en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	373
Tabla 85. Energía consumida por la red en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia).....	374
Tabla 86. Excedentes en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	375

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 87. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)	376
Tabla 88. Potencias unitarias utilizadas para el dimensionamiento. (Fuente: Elaboración propia).....	379
Tabla 89. Inversión inicial en la instalación fotovoltaica. (Fuente: Ecopel)	388
Tabla 90. Precio por elemento de los radiadores Europa C. (Fuente: Elaboración Propia)	389
Tabla 91. Presupuesto del Escenario I. (Fuente: Elaboración Propia)	391
Tabla 92. Presupuesto del Escenario II. (Fuente: Elaboración Propia)	399
Tabla 93. Presupuesto del Escenario III. (Fuente: Elaboración Propia).....	408
Tabla 94. Sumas parciales y presupuesto total del Escenario I. (Fuente: Elaboración Propia)	417
Tabla 95. Sumas parciales y presupuesto total del Escenario II. (Fuente: Elaboración Propia)	418
Tabla 96. Sumas parciales y presupuesto total del Escenario I. (Fuente: Elaboración Propia)	419

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Inclinación idónea de los módulos en función de la Latitud (Fuente: Rodríguez, E).....	170
Ecuación 2. Energía producida en una instalación solar fotovoltaica (Fuente: IDAE)	182
Ecuación 3. Simplificación de la Ecuación del IDAE.	184
Ecuación 4. Cálculo de la Potencia Pico según el IDAE. (Fuente: IDAE)	184
Ecuación 5. Cálculo del número de módulos necesarios según el IDAE. (Fuente: IDAE)	184
Ecuación 6. Fórmula para el cálculo de la tarifa eléctrica (Fuente: REE).....	185
Ecuación 7. Estimación de la inversión fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia)....	187
Ecuación 8. Gasto mensual en tarifa eléctrica (Fuente: REE).....	188
Ecuación 9. Ecuación del TIR. (Fuente: Análisis de Costes y Finanzas).....	191
Ecuación 10. Cálculo del consumo de la red y excedentes (Fuente: Elaboración propia)	193
Ecuación 11. Ecuación del Coste normalizado (Fuente: Ingeniería Energética, ICAI)	230
Ecuación 12. Potencia calorífica unitaria necesaria para el cálculo de instalaciones de calefacción.(Fuente: Caloryfrio.com).....	378

Javier Ros Martín
TABLAS DE CONTENIDO

DOCUMENTO N.º 1
MEMORIA

Javier Ros Martín
MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. DEFINICIÓN DEL TRABAJO.....	39
1.1. INTRODUCCIÓN.....	39
1.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	40
1.2.1. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE PROYECTO DE REMODELACIÓN ENERGÉTICA.....	40
1.2.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER.....	40
1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	41
1.3.1. MARCO TEÓRICO DEL ÁMBITO DE LA CLIMATIZACIÓN	41
1.3.2. MARCO TEÓRICO DE LOS PÁNELES FOTOVOLTAICOS.....	42
1.3.3. MARCO TEÓRICO DE LOS CÁLCULOS FINANCIEROS	42
1.4. OBJETIVOS.....	43
1.4.1. HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CLIMATIZACIÓN....	43
1.4.2. HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DISEÑO DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS	44
1.4.3. OBJETIVOS MEDIBLES DEL PROYECTO	44
1.5. METODOLOGÍA.....	45
1.6. RECURSOS A EMPLEAR.....	46
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA Y AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO	47
2.1. CARACTERÍSTICAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA OBJETO DE ESTUDIO.....	47
2.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INMUEBLE.....	47
2.1.2. DESCRIPCIÓN Y USO DE LAS INSTALACIONES DE INTERÉS. GASTOS MÁS IMPORTANTES.....	50
2.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES SOBRE EL TFG. NECESIDAD DE CONTINUAR CON EL PROYECTO	56
2.2.1. CONTEXTO DEL TFG Y ELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE MAYOR INTERÉS	56
2.2.2. DECISIONES TOMADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	57
2.2.3. AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES. JUSTIFICACIÓN DEL TFM.....	64

3. LA CLIMATIZACIÓN DE LA VIVIENDA. ANÁLISIS DE DIFERENTES ESCENARIOS	67
3.1. INTRODUCCIÓN A LA CLIMATIZACIÓN.....	68
3.1.1. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN CONVENCIONALES	69
3.1.2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	72
3.1.3. SISTEMAS FRÍO-CALOR.....	75
3.2. ELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS.....	78
3.2.1. ALTERNATIVAS PARA CALENTAR LA VIVIENDA. LA FUENTE DE ENERGÍA DE LA INSTALACIÓN CALEFACCIÓN Y ACS.....	79
3.2.2. ALTERNATIVAS PARA ENFRIAR LA VIVIENDA. LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN.....	80
3.2.3. ALTERNATIVAS PARA LOS CIRCUITOS DE AGUA.....	80
3.2.4. RESUMEN DE LOS ESCENARIOS.....	82
3.3. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ESCENARIOS.....	83
3.3.1. ESCENARIO I: AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE	84
3.3.2. ESCENARIO II: CALDERA DE BIOMASA CON RADIADORES Y AEROTERMIA POR CONDUCTOS	104
3.3.3. ESCENARIO III: GEOTERMIA CON CIRCUITO DE AGUA	133
3.4. PERFILES ENERGÉTICOS DE LOS ESCENARIOS DE CLIMATIZACIÓN.....	147
3.4.1. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PERFIL I. PERFIL DE CONSUMO AHORRO EN CALEFACCIÓN.....	147
3.4.2. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PERFIL II. PERFIL ENERGÉTICO TOTAL.....	150
3.4.3. PERFILES ENERGÉTICOS DEL ESCENARIO I: AEROTERMIA CON CIRCUITO DE AGUA	155
4. INCLUSIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA VIVIENDA.....	161
4.1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN A LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	162
4.1.1. DEFINICIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	162
4.1.2. SITUACIÓN GLOBAL Y NACIONAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	164
4.1.3. PROS Y CONTRAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .	166
4.2. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE LA VIVIENDA.....	169

4.2.1.	IDONEIDAD DE LA VIVIENDA PARA ALBERGAR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	169
4.2.2.	COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED	170
4.2.3.	ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES	176
4.2.4.	DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN.....	179
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	215
5.1.	<i>UNIÓN, RESUMEN Y ANÁLISIS FINANCIERO INDIVIDUAL DE CADA ESCENARIO.....</i>	<i>215</i>
5.1.1.	ANÁLISIS DEL ESCENARIO I. AEROTERMIA CON AGUA	216
5.1.2.	ANÁLISIS DEL ESCENARIO II. BIOMASA Y BOMBA AIRE/AIRE 233	
5.1.3.	ANÁLISIS DEL ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA	250
5.2.	<i>COMPARATIVA DE LOS ECENARIOS.....</i>	<i>266</i>
5.2.1.	RESUMEN DE LAS INTSTALACIONES PROPUESTAS	267
5.2.2.	ANÁLISIS ENERGÉTICO	269
5.2.3.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	277
6.	CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	281
6.1.	<i>CONCLUSIONES.....</i>	<i>281</i>
6.1.1.	HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CLIMATIZACIÓN..	282
6.1.2.	HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA FOTOVOLTAICO	283
6.1.3.	OBJETIVOS MEDIBLES	284
6.1.4.	REFLEXIÓN FINAL	285
6.2.	<i>LINEAS FUTURAS.....</i>	<i>286</i>
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	287
8.	ANEXOS.....	295
8.1.	<i>ANEXO I: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA VIVIENDA.....</i>	<i>296</i>
8.1.1.	PLANOS ORIGINALES.....	296
8.1.2.	CROQUIS DE ELABORACIÓN PROPIA	300
8.1.3.	IMÁGENES DEL ESTADO DE LA VIVIENDA.....	307

8.1.4.	ESQUEMAS HIDRAÚLICOS REALIZADOS A LO LARGO DEL TFG	314
8.2.	<i>ANEXO II: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA VIVIENDA</i>	321
8.2.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS EXISTENTES	321
8.2.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS PROPUESTOS.....	328
8.3.	<i>ANEXO III. TABLAS, CÁLCULOS Y DOCUMENTOS DE INTERÉS...</i>	345
8.3.1.	DOCUMENTOS DE INTERÉS.....	345
8.3.2.	TABLAS Y GRÁFICOS DE INTERÉS	347
8.3.3.	CÁLCULOS Y DEMOSTRACIONES DE INTERÉS.....	377
8.4.	<i>ANEXO IV: ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE</i>	380

1. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

1.1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de máster pretende seguir con la remodelación y proposición de mejoras en el ámbito energético de una vivienda residencial unifamiliar de 500 m² situada en la urbanización de Montepríncipe, en la Comunidad de Madrid. El proyecto de remodelación se inició dos años atrás con la realización del trabajo de fin de grado, a partir de ahora TFG. Nació con el objetivo de buscar soluciones energéticas para la vivienda que permitiesen un mayor confort y una mayor eficiencia en consonancia con el desarrollo sostenible.

Durante la realización del TFG se analizaron todas las necesidades de la vivienda y se eligieron unos cuantos puntos de mejora, entre los que se encontraban el bombeo del agua, la climatización de invierno y de verano, y el gasto total en luz y gas. No obstante, el alcance de dicho trabajo solo dio para estudiar y proponer mejoras en los dos puntos que más críticos se consideraron en aquel momento: la instalación de bombeo de agua caliente y la climatización de invierno.

En este punto del tiempo, aprovechando que las mejoras propuestas no han llegado a ser realizadas y también el hecho de que no se llegaron a cubrir todas las áreas de mejora en la vivienda, nace la necesidad de darle continuación al TFG, con la motivación de convertirlo en un proyecto vendible y realmente ejecutable. Ahora bien, aunque se trata de una continuación del TFG, el ángulo elegido para este proyecto y la metodología con la que se va a llevar a cabo va a variar considerablemente.

Aunque las mejoras propuestas durante la realización del TFG cumplían con los objetivos propuestos – suponían un gran ahorro y aumento del confort y estaban en consonancia con las nuevas tecnologías y el desarrollo sostenible –, éstas fueron pensadas desde un punto de vista cortoplacista, práctico y eficaz. Es decir, se detectaban problemas concretos en las instalaciones estudiadas y, tras un análisis preciso, se elegía una alternativa viable que sirviera como reemplazo. A día de hoy, aportando una mayor perspectiva y experiencia al trabajo, se ha decidido cambiar la metodología del reemplazo, por la del rediseño.

Durante la realización del proyecto, se van a plantear diferentes escenarios energéticos íntegros para la vivienda que permitan solucionar por completo el ámbito de la climatización, tanto de invierno como de verano, pero que, a la vez, permita rebajar los gastos energéticos, mediante la incorporación de paneles solares fotovoltaicos a la vivienda. Estos escenarios energéticos, que en muchos casos requerirán una renovación íntegra de las instalaciones, serán combinados con algunas de las mejoras pensadas durante la realización del TFG, para así lograr cubrir todas las áreas más importantes de la vivienda energéticamente hablando. Además, se llevarán a cabo los cálculos financieros de costes operativos y de inversión que permitan elegir el escenario más adecuado para la vivienda objeto de estudio.

1.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

En este apartado es necesario realizar una distinción. Por un lado, está la motivación de llevar a cabo el proyecto de remodelación energética de la vivienda y, por otro, se encuentra la motivación de hacer este trabajo de fin de máster (a partir de ahora TFM) como complemento a ese proyecto que empezó dos años atrás. Ambos están relacionados y se complementan, no obstante, la motivación y justificación de cada uno son diferentes.

1.2.1. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE PROYECTO DE REMODELACIÓN ENERGÉTICA

La motivación de empezar con este proyecto hace dos años proviene de la sensación de desaprovechamiento que supone el tener una vivienda de tal calidad y con tanto potencial, en el estado actual en el que se encuentra. Se trata de un inmueble con unas dimensiones y unas características que lo convierten en un activo muy valioso para la familia. No obstante, los gastos actuales que comporta y la sensación de falta de confort, hacen que su valor haya bajado considerablemente. De este modo, el proyecto nace con la motivación intrínseca que supone poder ayudar a la familia con un proyecto real de remodelación de la vivienda en términos energéticos.

Como justificación a la realización de este proyecto se presentaban cuatro puntos, los cuales, por sí solos, podrían ser necesarios individualmente para llevarse a cabo. Estos cuatro puntos – los cuales siguen aplicando – son la necesidad de vivir en una vivienda con unos estándares altos de confort, el ahorro económico mensual que supondría tener una vivienda eficiente energéticamente hablando, la revalorización a la que daría lugar un inmueble de ese estilo si encima es eficiente energéticamente hablando y, por último, la necesidad hoy en día de tener una casa que este en consonancia con el medioambiente y con los objetivos de desarrollo sostenible.

1.2.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

La motivación de seguir con este proyecto de remodelación dos años más tarde mediante la realización del TFM proviene del hecho de acabar con lo que ya se empezó. Es cierto que en el TFG se propusieron mejoras de gran calidad que perfectamente podrían haberse llevado a cabo actualmente, no obstante, esas mejoras nunca han llegado a ver la luz. Además, muchas áreas en las que todavía hace falta proponer cambios energéticamente no llegaron a ser estudiados. De este modo, la única manera de que el proyecto se ejecute realmente es acabar con lo que se empezó dos años atrás. Además, con el aporte de una mayor experiencia y el hecho de haber aprendido de ciertos errores, este trabajo va a ser capaz de ofrecer una solución íntegra al problema energético que, aunque suponga una mayor inversión inicial, magnificará el ahorro, el confort, la revalorización y la consonancia con el medio ambiente a largo plazo.

Aunque con lo comentado en el párrafo anterior el proyecto queda más que justificado, a lo largo del segundo capítulo del trabajo se justificará de manera mucho más objetiva y evidente la realización de este TFM y de los temas que se tratan en él.

1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Mientras que en el TFG se ponía el foco en los diversos problemas que presentaban diferentes instalaciones de la vivienda por separado, el foco de este trabajo va a estar puesto sobre los dos gastos energéticos más grandes en la vivienda: la electricidad y el gas natural. Siguiendo con esta máxima de rebajar los gastos energéticos en la vivienda y aportando una visión más largoplacista, el trabajo va a girar alrededor de dos puntos principalmente. Por un lado, del rediseño de la climatización de la vivienda (tanto de invierno, como de verano) y por otro, de la incorporación de paneles solares fotovoltaicos capaces de abastecer gran parte de la demanda eléctrica. Además de estos dos temas, como el trabajo cuenta también con una fuerte componente económica y de ahorro, será muy importante también atender a los cálculos financieros necesarios para la toma de decisiones.

Antes de entrar en el marco teórico de los temas objeto de estudio, es necesario comentar que este proyecto, aunque tiene una visión diferente, se trata de una continuación del TFG. En dicho trabajo, aparte de proponer mejoras, se hizo un análisis muy extenso del estado, las características y las necesidades del inmueble objeto de estudio. Es por ello, que el TFG será el principal punto de referencia a la hora de llevar a cabo los objetivos del presente proyecto. De hecho, gran parte de los esquemas realizados y la información recopilada formará parte del anexo de este trabajo, lo que propiciará que su seguimiento sea más fácil, sin llegar a redundar. Además, las mejoras propuestas en términos de aislamientos serán llevadas a cabo íntegramente (en el ámbito de la climatización y del bombeo serán revisadas).

Los temas objeto de estudio son de lo más candentes en la sociedad actual y están a la orden día en todas las viviendas del mundo entero. Es por ello por lo que hay gran cantidad de fuentes en las que basarse para llevar a cabo el estudio de este proyecto. Estas fuentes no serán solo teóricas, sino que también habrá que tener en cuenta toda la componente normativa que existe alrededor de los temas energéticos. De este modo, a continuación, se va a comentar el marco teórico que se utilizará para llevar a cabo el diseño de la climatización y de los paneles fotovoltaicos, así como el fundamento para los cálculos financieros.

1.3.1. MARCO TEÓRICO DEL ÁMBITO DE LA CLIMATIZACIÓN

En este proyecto, a diferencia del TFG, que únicamente se centraba en reemplazar ciertos elementos del sistema de calefacción, lo que se va a hacer es rediseñar por completo una instalación de climatización capaz de aportar calor en invierno y frío en verano. Para ello, en primer lugar, se analizarán todas las tecnologías disponibles desde un punto de vista teórico. En este sentido, las principales fuentes de información serán los materiales procedentes de la asignatura de Ingeniería Energética y de Instalaciones Industriales, cursadas durante el primer curso de Máster en ICAI.

Una vez conocido todo el abanico de posibilidades, será indispensable conocer la normativa existente en materia de climatización para la elección y diseño de los escenarios. En este sentido, se utilizarán las pautas tanto de la Unión Europea, como de España, recogidas en dos fuentes principalmente: el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y el Código Técnico de Edificación (CTE).

Por último, dado que se trata de un proyecto ejecutable, muchas veces será necesario buscar el enfoque práctico y la opinión de expertos en el tema a la hora de dimensionar o de elegir componentes específicos. Al fin y al cabo, se trata de un tema indispensable en la sociedad actual y al cual se dedican gran cantidad empresas especializadas en el tema, por ello, también se consultarán páginas web y foros especializados, así como prensa que permita conocer el contexto geopolítico actual. Todos estos recursos quedarán recogidos en la bibliografía del trabajo.

1.3.2. MARCO TEÓRICO DE LOS PÁNELES FOTOVOLTAICOS

Tal y como pasa con el ámbito de la climatización, primero será necesario generar un marco teórico en el que se pueda ver el alcance de la energía solar fotovoltaica hoy en día y las tecnologías disponibles en este ámbito. Para ello, de nuevo se consultará los materiales correspondientes a la asignatura de Ingeniería Energética cursada en ICAI. En dicha asignatura, se realizó un trabajo de investigación sobre las instalaciones fotovoltaicas que será una importante fuente de información en cuanto al estado del arte en materia fotovoltaica en España. Además, también se utilizarán los materiales la asignatura ‘Technology, environment and society’ cursada en la Universidad de San Diego en cuarto curso de grado.

Aparte del material teórico, se utilizará una gran cantidad de datos estadísticos que avalen la necesidad de incorporar energía fotovoltaica en viviendas aptas para ello. Para ello, se utilizarán organizaciones consolidadas nacional y mundialmente, como, por ejemplo, la UNEF (Unión Española Fotovoltaica), IRENA (International Renewable Energy Agency) o el CIEMAT (Center for Energy, Environmental and Technological Research).

Por último, de nuevo será necesario echar mano de la normativa en materia fotovoltaica, para lo cual se utilizará el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y el IDAE con su documento “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a la Red”, y también será indispensable consultar páginas web y foros especializados a la hora de llevar a cabo el dimensionamiento, elección de componentes e instalación de las placas solares en el tejado de la vivienda.

1.3.3. MARCO TEÓRICO DE LOS CÁLCULOS FINANCIEROS

Los cálculos financieros llevados a cabo deberán ser capaces de ayudar a la toma de decisiones sobre cuál será el escenario energético más adecuado para la vivienda. Para ello será necesario manejar conceptos relacionados con la valoración de proyectos, como son el VAN, el TIR o los costes normalizados, y también la técnica de los descuentos de flujo de caja (DCF). Para ello, el trabajo se apoyará en los conceptos estudiados en las asignaturas de Análisis de Costes y Finanzas y, de nuevo, en la asignatura de Ingeniería Energética, donde se dedica un capítulo íntegro a la valoración de proyectos de índole energética.

1.4. OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es la remodelación y la proposición de mejoras en el ámbito energético de un chalé residencial. Esto, traducido a sucesos medibles para el desarrollo de este trabajo se puede expresar como la reducción o eliminación de los gastos energéticos en la vivienda, mediante el diseño de una solución íntegra de climatización, acompañada de la instalación de placas solares fotovoltaicas. Esta solución energética puesta en común con las mejoras propuestas durante la realización del TFG formaría el proyecto ejecutable que se llevaría a cabo tras la finalización de este trabajo.

Para el correcto seguimiento de los objetivos, lo primero que se va a hacer es desgranar el diseño de esta solución integral para la vivienda en diferentes hitos que sean fácilmente medibles y alcanzables. Así, una vez acabado el análisis y dimensionamiento de las diferentes instalaciones, se podrán poner objetivos globales y más concretos que permitan valorar objetivamente si el proyecto ha cumplido con las especificaciones.

1.4.1. HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CLIMATIZACIÓN

La sociedad de hoy en día tiene unos estándares de confort sin los cuáles no se entendería su modo de vida actualmente. Estos estándares obligan a diseñar instalaciones que sean capaces de mantener la temperatura adecuada dentro de la vivienda tanto en invierno, como en verano. Esto se consigue gracias a un sistema de climatización que, no solo sea capaz de aportar confort, sino de funcionar de manera eficiente y en consonancia con los objetivos de desarrollo sostenible.

El sistema de calefacción de la vivienda fue uno de los puntos de discusión que se trataron en el TFG. La decisión que se tomó fue la de mantener la instalación tal y como estaba, cambiando únicamente los radiadores y la bomba hidráulica. Estas medidas, junto con los cambios en los aislamientos (que son fundamentales para la correcta climatización), suponían un ahorro teórico-práctico en la factura de gas de entorno al 60%. No obstante, en este punto del tiempo, aprovechando el contexto geopolítico del gas natural, el hecho de que hay que diseñar la climatización de verano, y el hecho de permitir pensar en un plazo más largo que el que se pensó dos años atrás, se va a rediseñar por completo el ámbito de la climatización, lo cual se traduce en los siguientes hitos:

- **Estado del arte y elección de escenarios:** Para poder elegir un buen sistema de climatización, el primero de los pasos debe ser conocer las tecnologías existentes, la normativa y el contexto geopolítico. En este apartado saldrán soluciones como la aerotermia o la geotermia frente al hecho de mantener sistemas convencionales con gas o biomasa. Con esto en mente, el objetivo será elegir los escenarios que, a priori, más se ajustan a la vivienda y a las necesidades de hoy en día.

- **Dimensionamiento correcto de los escenarios:** Un dimensionamiento adecuado de cada uno de los escenarios será un escenario en el que tanto el confort, como el ahorro están asegurados. Este hito será cumplido si cada uno de los escenarios se ha diseñado siguiendo el consejo de expertos en la materia y atendiendo a la normativa existente. Además, será fundamental incluir los presupuestos y los gastos y períodos de vida útil de cada uno de los escenarios.

1.4.2. HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DISEÑO DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

El desarrollo sostenible y la consonancia con el medioambiente es uno de los principios que hoy en día mueven el planeta. Apostar por fuentes de energía limpias y renovables es parte de la responsabilidad social de cada uno. Pues bien, en una vivienda con unas características que, a priori, parecen idóneas para aportar su granito de arena a la sociedad, se trata casi de una obligación el hecho de intentar contar con paneles fotovoltaicos. Los hitos propuestos desde el punto de vista del diseño de los paneles serán muy parecidos a los propuestos en el ámbito de la climatización.

- **Estado del arte y demostración de la importancia de energía FV:** Igual que pasaba con el ámbito de la climatización, el primero de los pasos debe ser conocer el estado del arte y la normativa en materia fotovoltaica. Pero, además de eso, el objetivo será avalar el hecho de poner energía fotovoltaica en casa aportando datos objetivos sobre la misma que la refrenden.
- **Estudiar viabilidad y asegurar ahorro:** Aparte de la teoría, será muy importante también hacer un estudio de las características de la vivienda y su tejado, de manera que se asegure que es viable instalar paneles en la casa y que se eligen las placas que mejor se adaptan a dichas características. Además, como en el caso de la climatización, será fundamental incluir los presupuestos y los gastos y períodos de vida útil que permitan los cálculos financieros posteriores

1.4.3. OBJETIVOS MEDIBLES DEL PROYECTO

Una vez alcanzados los hitos en cada una de las áreas de estudio, los objetivos alcanzados a la conclusión de este trabajo deben ser los siguientes:

- **Soluciones íntegras para la vivienda:** Al término de todos los capítulos, habrá unos cuantos escenarios de climatización (entre los que estarán la aerotermia o la geotermia, por ejemplo), un diseño de placas solares fotovoltaicas para la vivienda, y una serie de mejoras que se llevaron a cabo durante la realización del TFG. El objetivo será poder unir todas esas mejoras en un máximo de cuatro escenarios que contengan todos los indicadores más importantes (presupuestos, gastos, ahorros, períodos de retorno, TIR, etc.), de manera que, si en cualquier punto del tiempo se quisiera ejecutar el proyecto, cualquiera de las soluciones íntegras pudiera ser ejecutada.
- **Decisión basada en ahorro y confort:** Aunque cualquiera de los escenarios propuestos supondrá un ahorro y debería ser válido para la vivienda, este proyecto pretende tomar una decisión objetiva sobre cuál de los escenarios será el más idóneo para la vivienda. Dicha decisión se tomará en base a los diferentes indicadores mostrados, con la condición inequívoca de que los gastos mensuales en términos energéticos deberán reducirse en más de un 60%, que es el valor teórico alcanzado para el ahorro en gas en el TFG.

1.5. METODOLOGÍA

El punto de cambio más grande con respecto al TFG es la metodología con la que se va a plantear el trabajo. No obstante, no dejan de ser proyectos con los mismos objetivos en cierto modo. Es por ello, por lo que se sigue tratando de un trabajo de investigación aplicada, pues lo que se buscan son mejoras y soluciones íntegras que tienen la intención de ser ejecutadas. Y es por la misma razón por la que se va a aplicar de nuevo el método científico analítico, dado que se van a estudiar individual y conjuntamente todos los componentes de las instalaciones que se van a diseñar.

El principal punto de diferencia con respecto al TFG será el hecho de utilizar una metodología mucho más deductiva y basada en el diseño. En el TFG, se utilizaba una metodología inductiva, en la que, tras una observación y recopilación de datos inicial sobre el estado de las instalaciones, se determinaban cuáles eran los elementos que presentaban una criticidad más alta, bien por su importancia o bien por el estado en el que se encontraban. De este modo, se buscaba información al respecto de las soluciones más viables y se decidían reemplazar unos elementos por otros.

En este trabajo, sin embargo, fruto de la experiencia adquirida y el hecho de poder pensar en un plazo más largo, la metodología que se va a utilizar es la deductiva. Es decir, bien, porque las instalaciones objeto de estudio no están en un buen estado y necesitan ser reemplazadas al completo (como es el caso de la calefacción), o bien porque las instalaciones no existían previamente (como en el caso del aire acondicionado o de las placas FV), lo que merece la pena es diseñar de cero las instalaciones. Siguiendo con esta filosofía, se va a ir de lo más general a lo más particular. En primer lugar, se estudiará el estado del arte de los temas objeto de estudio para, posteriormente, buscar las soluciones particulares que mejor se adapten a las características del inmueble. La estructura del trabajo por bloques temáticos contará con los siguientes capítulos:

- **1 y 2. Contextualización.** Después de este primer punto introductorio, para seguir poniendo en situación con las características de la vivienda, y con el trabajo desarrollado durante el TFG, se hará un segundo capítulo que permita resumir y analizar cuidadosamente los resultados que se obtuvieron dos años atrás. Así, con una mayor perspectiva, se podrá hacer un análisis mucho más preciso de cuáles son los resultados que van a seguir interesando para los puntos posteriores
- **3 y 4. Análisis y dimensionamiento de las soluciones.** El capítulo tercero servirá para el diseño de las soluciones en el ámbito de la climatización y el cuarto para el diseño de las placas solares fotovoltaicas. Aquí es donde se llevará ese razonamiento deductivo que partirá del estado del arte para luego buscar las soluciones más indicadas.
- **5 y 6. Unión, toma de decisiones y conclusiones.** Con todas las soluciones dimensionadas, en el quinto capítulo se terminarán por concretar exactamente todos los escenarios y se llevarán a cabo los cálculos financieros correspondientes que permitan calcular todos los indicadores clave. Estos harán que en el sexto capítulo se pueda tomar una decisión satisfactoria para la ejecución del proyecto.
- **7 y 8. Bibliografía y anexos.** Contendrá gran parte del material creado y utilizado para el desarrollo del TFG, datos de la vivienda y el apartado sobre los ODS.

1.6. RECURSOS A EMPLEAR

El análisis realizado en este proyecto no requiere de ninguna herramienta específica, más allá de toda la bibliografía externa necesaria para llevar a cabo dicho estudio. Toda esta bibliografía y estas fuentes tendrán un capítulo propio. Los recursos a utilizar en este sentido ya se han expuesto en el apartado del estado de la cuestión, no obstante, a modo de resumen, las principales fuentes externas de información serán el material de asignaturas cursadas en ICAI y en universidades de intercambio, la normativa existente y páginas web especializadas.

Además de bibliografía y fuentes externas, dado que se trata de una vivienda perteneciente a la familia, también será necesaria la utilización de recursos internos para la correcta observación, medición y descripción de la vivienda. Para ello, se necesitarán los planos originales de la vivienda y las facturas energéticas actuales, además de todo el contenido que alberga el TFG y que será fundamental como punto de comparación.

Por último, se utilizarán algunos recursos y plataformas básicas que permitan recoger el contenido del trabajo y realizar las aportaciones propias. Aparte de todo el paquete de Microsoft office, que es la base del proyecto, y en la que Excel tendrá gran importancia en la realización de los cálculos de carácter financiero, también será necesaria la utilización de recursos específicos para el dimensionamiento de diferentes componentes y de otras herramientas que permitan la realización de planos y croquis, como son homebyme, para la realización de croquis de la vivienda, y Epanet, para croquis de las tuberías y de todos los elementos de carácter hidráulico.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA Y AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Una vez propiamente definido el alcance de este trabajo en concreto, y del proyecto de remodelación energética en general, este capítulo pretende cumplir con tres objetivos. Para empezar, sirve para poner en contexto al lector sobre las características y la situación de la vivienda objeto de estudio. En segundo lugar, como en todo momento se va a estar referenciando al TFG realizado dos años atrás y las mejoras que se propusieron en aquel trabajo, también se comentarán los resultados obtenidos en dicho trabajo y se aportarán nuevos análisis al respecto, fruto de una perspectiva más completa. Por último y más importante, sirve para avalar la necesidad de continuar y acabar con el proyecto de remodelación energética con los ámbitos elegidos: la climatización y los paneles solares.

2.1. CARACTERÍSTICAS Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA VIVIENDA OBJETO DE ESTUDIO

En primer lugar, se describirán las características y el estado del terreno, así como de la vivienda en sí. Como todo este trabajo de descripción ya se realizó en el TFG y no ha cambiado nada desde entonces, este punto se va a hacer de manera muy breve y con apoyo gráfico, con el objetivo de entender rápidamente sus puntos más importantes. Este apoyo gráfico se incluirá en el capítulo 8.1 del Anexo del trabajo. En segundo lugar, se realizará un estudio del uso actual de la vivienda y de sus instalaciones más importantes, en el que se incluirán los gastos energéticos a los que tiene que hacer frente hoy en día. La situación a nivel de gastos sí que ha cambiado notablemente con respecto a dos años atrás, por lo que será fundamental para avalar la realización del TFM.

2.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INMUEBLE

El inmueble a analizar se encuentra en la urbanización de chalés de Montepíncipe, ubicado dentro del municipio de Boadilla del Monte, en la zona oeste Comunidad de Madrid. Construido en 1975 y ubicado a 700 msnm, sus condiciones climáticas son de tipo mediterráneo continentalizado, lo que significa que hay inviernos fríos, con temperaturas de alrededor de 5 °C, y veranos calurosos con temperaturas medias de 30 °C. Esto significa que la vivienda idealmente requiere tanto de climatización de invierno, como de verano.

La parcela cuenta con unos 5000 m² de terreno aprovechable, entre los que se encuentran zonas de piscina, zonas verdes y zonas de bosque. Dentro de esa parcela, se encuentra el inmueble, de 500 m² aprovechables divididos en tres plantas. No obstante, solo dos de ellas están acondicionadas, pues la tercera sirve como garaje, trastero y maquinaria. Por tanto, se dispone de una primera planta con unos 250 m² y una segunda planta con unos 150 m². Para tener una buena idea de cómo es la vivienda por dentro, a continuación, se adjunta un croquis de elaboración propia que incluye la vista en planta y en 3D de la primera y segunda planta de la vivienda.

Javier Ros Martín
DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA Y DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

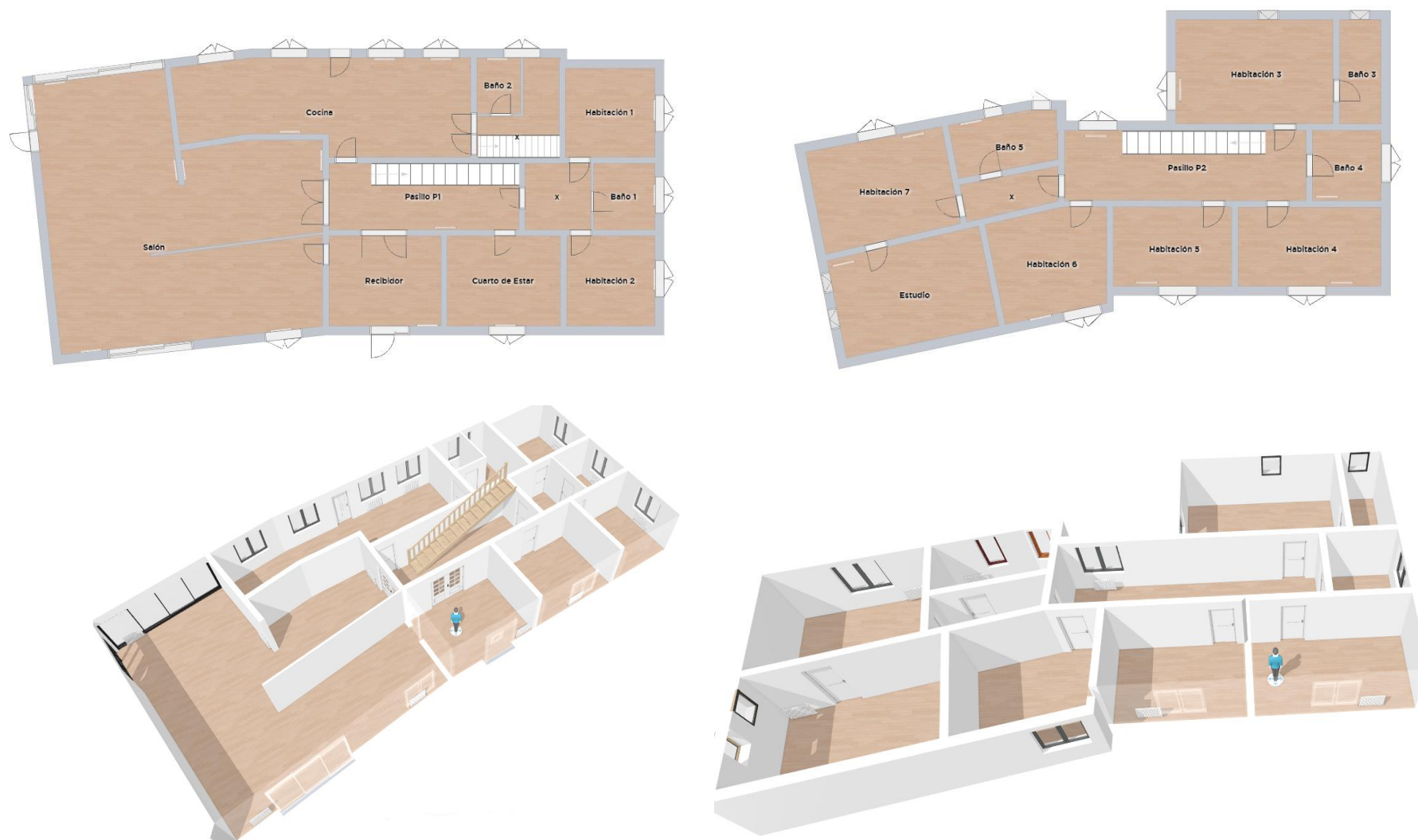


Ilustración 1. Croquis en planta y en 3D de la primera planta (a la izquierda) y de la segunda planta (a la derecha). (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

Toda la información acerca de los planos originales de la vivienda se encuentra en el primer capítulo del Anexo de este trabajo (8.1). En ese mismo apartado del anexo también se muestran los croquis de la vivienda con más detalle, así como imágenes del terreno, de la vivienda y de algunas de sus instalaciones, las cuales son muy útiles para hacerse una buena idea gráfica de la residencia que se está analizando. No obstante, a continuación, en la Ilustración 2, también se muestra dos imágenes de la de la fachada sur de la vivienda.



Ilustración 2. Fachada de la vivienda en su orientación sur. (Fuente: Elaboración propia)

Aparte de para hacerse una buena idea del aspecto del inmueble, la fachada sur de la vivienda mostrada en la Ilustración 2 se ha incluido en este punto porque es de gran interés para el devenir de este proyecto. Como se puede ver en dicha imagen, los días soleados, el tejado actual de pizarra que presenta la vivienda parece tener las condiciones ideales para albergar paneles solares fotovoltaicos. Además, aparte de la orientación sur, el tejado está construido de tal manera que apunta a las cuatro direcciones, por lo que también es posible plantear el hecho de poner placas en otras fachadas. Este hecho también tiene influencia en las necesidades de climatización de la vivienda, pues no tendrán las mismas necesidades las habitaciones que tienen diferentes orientaciones.

Acerca de los materiales existentes en paredes, ventana y tejado, se puede afirmar que mayoritariamente se encuentran en un perfecto estado tanto a nivel constructivo, como de apariencia. Las paredes de ladrillo presentan un grosor de 36 cm y cuentan con pladur entre medias, con lo cual éstas no presentan ningún problema. Sin embargo, la mayoría de las ventanas (salvo algunas pocas que fueron reemplazadas por PVC) son de vidrio, con un perfil de madera muy degradado, por lo que éstas sí que presentan deficiencias en términos de aislamiento. Por último, el tejado negro de pizarra cuenta con las características adecuadas. No obstante, hay que decir que, por el hecho de ser negro, las habitaciones de la segunda planta se calientan más de la cuenta en temporada estival. Esto, sumado al hecho de que actualmente no se cuenta con aire acondicionado en la vivienda, provoca que sea muy difícil habitar en la planta de arriba durante el verano.

Otro punto que podría tener interés en esta descripción podrían ser los aspectos estructurales de la vivienda (el inmueble no presenta ningún problema en este sentido) o el aprovechamiento del extenso terreno que posee la vivienda. No obstante, como este trabajo solo pretende centrarse en el ámbito energético, con la descripción y las imágenes aportadas hasta este momento es más que suficiente para entender y dar un buen contexto.

2.1.2. DESCRIPCIÓN Y USO DE LAS INSTALACIONES DE INTERÉS. GASTOS MÁS IMPORTANTES

Una vez entendido el estado y las características de la vivienda, ahora toca centrar la atención en el ámbito energético. Para ello, se van a estudiar las características y el uso de las instalaciones más importantes de la vivienda, las cuales tienen un impacto directo en los gastos energéticos que se pagan de manera continua. Por tanto, las instalaciones que se estudiarán son las de agua, la de gas y la de electricidad. Además, se aportarán facturas reales y gastos pagados en el período comprendido entre el verano de 2021 y de 2022, con la utilización actual que se les da.

En primer lugar, hay que comentar que, aunque la vivienda es capaz de albergar hasta 15 personas al mismo tiempo, dado que cuenta con 7 habitaciones, actualmente únicamente habitan 4 personas diariamente. Los meses de julio y agosto, la casa está habitada normalmente por una sola persona, mientras que otros períodos de vacaciones sí que llegan a juntarse más de 10 personas. Esto tiene vital importancia para entender el porqué de algunas facturas y la magnitud que podrían alcanzar si la vivienda estuviera en su máxima capacidad en todo momento. No obstante, independientemente de la utilización actual, el objetivo de este proyecto será siempre dimensionar la vivienda para cualquier caso de uso en el futuro.

2.1.2.1. Instalación de agua

El agua proveniente del canal de Isabel II entra a la parcela por la zona oeste y se ramifica en tres para abastecer a tres instalaciones distintas. En primer lugar, abastece a la instalación de riego, la cual está activa sobre todo entre los meses de mayo a octubre. En total, hay unos 1000 m² de zonas verdes que necesitan ser regadas en la época más seca del año. La segunda de las ramificaciones se encarga de abastecer todo el circuito de la piscina (de 14x6 m), que incluye la depuradora y los grupos de bombas. Este circuito solo se activa en los meses de verano. Por último, la última de las ramificaciones se encarga de abastecer todas las necesidades de la vivienda, es decir, agua corriente, agua de las cisternas, agua caliente sanitaria, agua del circuito de calefacción, etc.

Teniendo en cuenta esta distribución de la instalación, es fácil imaginarse la pinta que tiene el consumo mensual de agua a lo largo del año. Para ver el consumo real del último año (entre septiembre 2021 y 2022), se adjunta la Ilustración 3. La información ha sido sacada de facturas reales de la vivienda. En el capítulo 8.3. del anexo se muestra un ejemplo de esta factura de en el mes de mayo de 2022. En ella se puede ver como en los meses de noviembre a abril el consumo es mínimo, dado que solo se utiliza la instalación interior de agua. Sin embargo, en los meses más calurosos y secos, y sobre todo en los de verano, en los que la piscina está abierta, el consumo se dispara. Está claro que podrían proponerse soluciones en el ámbito de crear un terreno que utilizase el agua del riego y de la piscina de una manera mucho más razonable y responsable. No obstante, en este trabajo solo se presentarán soluciones que afecten a las instalaciones interiores de la vivienda.

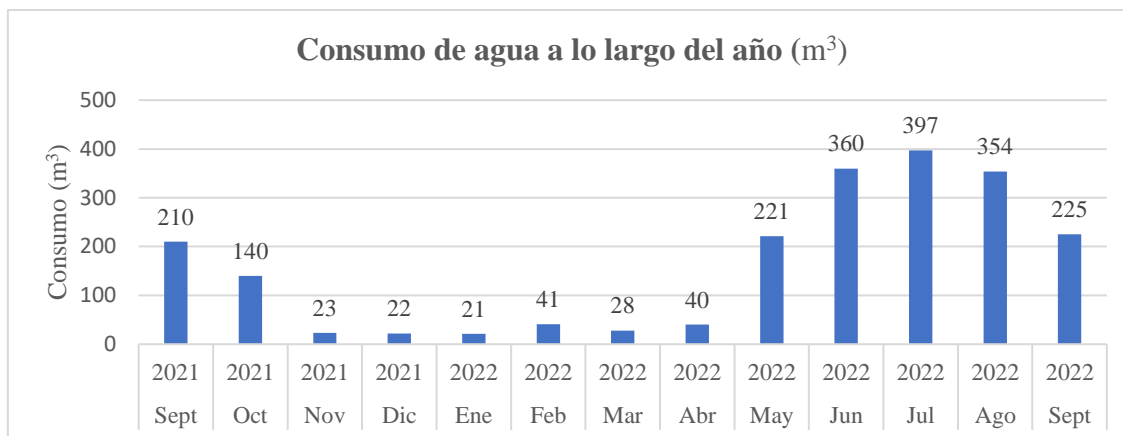


Ilustración 3. Consumo de agua (en m³) de sept-21 hasta sept-22. (Fuente: Elaboración propia)

Por tanto, la instalación de interés para el transcurso de este trabajo es la que se encarga de proporcionar el agua corriente a la vivienda. Como se puede ver, en términos relativos de consumo total de agua, no tiene ninguna importancia, por lo que parece que no hace falta tocar nada en ese sentido. Sin embargo, es necesario analizar el estado de esta red un poco más a fondo, dado que también incluye las redes de calefacción y de agua caliente sanitaria, que sí que serán fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

La red de agua caliente ya se analizó a fondo durante la realización del TFG. Por tanto, simplemente se va a explicar de manera muy breve su configuración y su estado. Si se requiere de más información, se recomienda visitar el capítulo 8.1.4, que tiene toda la información y los esquemas relevantes de dicha red. Básicamente, la red de agua caliente nace en el cuarto de calderas situado en ala este de la vivienda. En dicho cuarto se encuentran la caldera de gas y el depósito de agua caliente sanitaria, a partir de los cuales se distribuye el agua caliente a toda la vivienda

De este modo, hay un circuito base que une la caldera y el depósito gracias una bomba hidráulica (**Ilustración 147**. Esquema del circuito que une la caldera y el depósito. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado) Ilustración 147) y, a partir del cual salen otros dos circuitos. Por un lado, el circuito cerrado de calefacción (Ilustración 148) que impulsa agua caliente a un total de 25 radiadores, formando un entramado de unos 300 m de tuberías de cobre. Por el otro lado, del depósito ACS, sale el circuito de agua caliente sanitaria (Ilustración 149) que lleva agua a un total de 19 elementos terminales, en un entramado de unos 70 m de tubería de cobre. Este último también cuenta con un circuito de recirculación de la misma longitud.

El principal problema que contempla la red de agua caliente es que ha quedado bastante anticuada y desactualizada, generando, en ocasiones, una falta de confort considerable. De este modo, en la red de ACS, los elementos terminales más lejanos al depósito se encuentran problemas de presión en las duchas a la hora de sacar agua caliente y, en la red de calefacción, los radiadores han quedado bastante anticuados y la eficiencia de la instalación probablemente no esté ni cerca de sus valores originales. Esto se debe al mal estado de las tuberías en algunos y de otros elementos del sistema, como las bombas. Es por ello por lo que durante el TFG ya se propusieron mejoras dispuestas a paliar de manera práctica estos hechos.

2.1.2.2. Instalación de gas.

El hecho de que la red de agua caliente en general, y la de calefacción en particular, no esté aportando el confort y los rendimientos adecuados tiene una consecuencia directa en el consumo de gas natural de la vivienda. El gas natural en la vivienda se utiliza como combustible para calentar el agua destinada a los circuitos de calefacción y de agua caliente sanitaria. Esto es posible gracias a una caldera que es capaz de transmitir el poder calorífico del gas al circuito de agua.

La instalación de gas natural fue una obra llevada a cabo en el año 2002, momento en que se decidió conveniente incorporar esta tecnología como sustitución del gasoil. Es decir, hace exactamente 20 años que se instalaron los tubos bajo tierra encargados de hacer llegar el gas a la vivienda y que se puso en marcha la caldera de gas existente, de la marca Ferroli y cuyos datos se muestran en el capítulo 8.3 del anexo. De este modo, dado que hace solamente 20 años que se llevó a cabo esta sustitución, la instalación de gas, así como de todos sus componentes, se encuentran en perfecto estado.

No obstante, hoy en día, la visión general sobre el gas natural está cambiando de manera radical. La principal ventaja que tenía el gas era que era la fuente de combustible más accesible, estable y barata. Sin embargo, dado el contexto geopolítico actual, en el que el precio del gas no para de aumentar, la situación está tornando. Además, actualmente existen otras fuentes de combustible (como la biomasa o la aerotermia) mucho más limpias y que son capaces de alcanzar rendimientos mayores. Al fin y al cabo, estas otras fuentes de energía permiten trabajar al agua a temperaturas menores, obteniendo exactamente el mismo grado de confort, lo que hace aumentar la eficiencia.

De este modo, el aumento del precio del gas, sumado a los bajos rendimientos del circuito de agua de calefacción y de agua caliente sanitaria, están provocando un consumo exagerado, lo que se refleja en la factura de gas. Para tener una idea de la magnitud del consumo y del gasto, se ha realizado la Tabla 1, en la que se incluye un resumen de las facturas de gas de la vivienda entre Julio 2021 y Julio 2022.

Tabla 1. Consumo de gas natural desde Jul-21 hasta Jul-22. (Fuente: Elaboración propia)

Inicio	Fin	días	m ³	kWh	Suma del Importe			Total
					Fijo	Energía	Extras	
16/07/2021	14/09/2021	60	66	693	104,77 €	32,23 €	41,73 €	178,73 €
15/09/2021	30/09/2021	15	170	1.785	28,18 €	83,23 €	31,42 €	142,83 €
01/10/2021	16/11/2021	46	498	5.229	19,39 €	226,35 €	128,74 €	374,48 €
17/11/2021	18/01/2022	62	2.197	23.068,5	137,00 €	1.001,41 €	414,12 €	1.552,53 €
19/01/2022	16/03/2022	56	1.765	18.532,5	113,90 €	799,40 €	259,91 €	1.173,20 €
17/03/2022	17/05/2022	61	1.007	10.573,5	112,49 €	456,66 €	164,36 €	733,51 €
18/05/2022	12/07/2022	55	139	1.459,5	101,61 €	199,05 €	83,43 €	384,09 €
13/07/2022	02/08/2022	20	46	483	38,10 €	68,45 €	29,80 €	136,35 €

Para comentar dicha tabla, es necesario entender dos factores previamente. El primero de ellos es el hecho de que la conversión que se da en la factura del gas es de 1 m³ es igual 10,5 kWh de media en todos los períodos. Esto se utilizará para comparar y dimensionar con otras tecnologías. El segundo factor está relacionado con los términos de la factura. De manera resumida, el término fijo del importe es directamente proporcional al número de días de servicio, el término de la energía consumida el proporcional al consumo, y los extras son en concepto de impuestos y otros cánones.

Teniendo en mente lo comentado en el párrafo anterior, se puede apreciar como el término fijo se ha mantenido estable y proporcional al número de días que comprende la factura a lo largo del año (menos en octubre y noviembre, que se produjo algún tipo de descuento debido al cambio de compañía), mientras que el término de energía consumida ha sufrido una subida considerable fruto de los altos precios del gas. Mientras que en septiembre de 2021 se pagaban 83 € en concepto de energía consumida por un consumo de 170 m³, en mayo y junio de 2022 se han pagado 199 € por un consumo de únicamente 139 m³. Es decir, el precio del gas se ha casi triplicado de un año para otro. Esto demuestra el hecho de que el gas ha dejado de ser una fuente de energía barata y estable.

Para entender mejor y de manera correcta cuáles son las costumbres de consumo en la vivienda, y con el fin de posteriormente poder llevar a cabo los cálculos de ahorro energético de manera más precisa se ha extrapolado la Tabla 1 de los consumos del período 2021 – 2022 y se han creado perfiles de consumo mensual, en kWh. El perfil obtenido se muestra en la Ilustración 4. Para su mejor entendimiento, se presentan los siguientes puntos sobre el funcionamiento actual de la vivienda.

- La época que comprende desde noviembre a marzo, la caldera de mantiene encendida durante 12 horas al día, por lo que las diferencias en consumo tienen que ver con las diferencias en temperatura. Los meses de diciembre y enero, aparte de ser los más fríos, suelen tener un mayor número de personas en la vivienda debido a la época de Navidad.
- En abril y octubre a veces es necesario encender la caldera de vez cuando.
- En los meses de mayo a septiembre, la caldera solo se utiliza para el ACS. El mes de agosto la casa está deshabitada y en julio la situación es bastante parecida

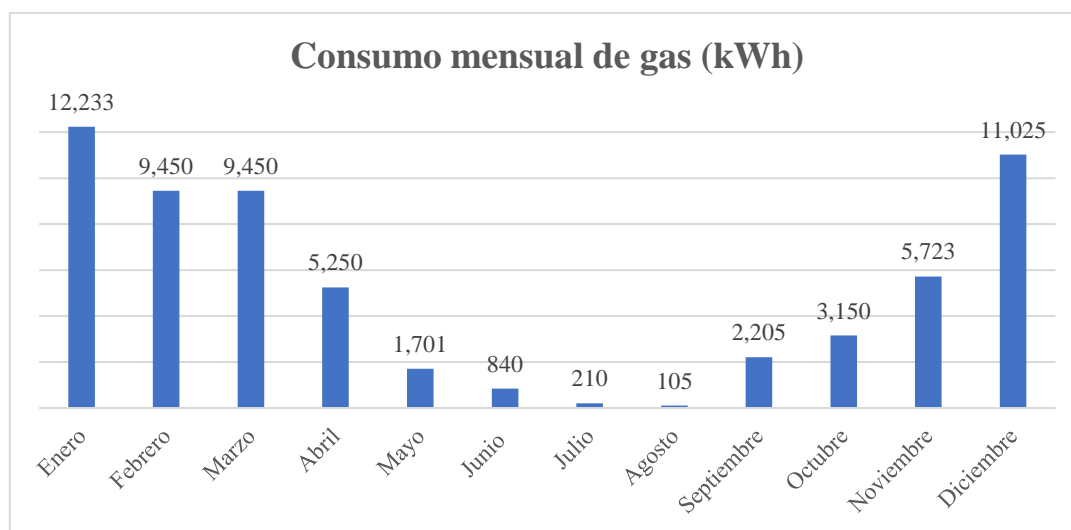


Ilustración 4. Perfil de consumo mensual de gas en la vivienda, (Fuente: Elaboración propia)

2.1.2.3. Instalación de electricidad

La última de las instalaciones que generan un gasto en la vivienda es la electricidad. La vivienda se conecta a la red eléctrica directamente a través del operador para abastecerse. La electricidad en la vivienda se utiliza, por un lado, para la iluminación, tanto interior, como exterior de la vivienda y, por otro, para hacer funcionar toda la maquinaria existente (electrodomésticos, bombas y cualquier tipo de terminales). Dado que se trata de un terreno y un inmueble muy grande, el consumo es extraordinariamente alto. Además, es muy probable que gran parte de los aparatos de iluminación y de la maquinaria existente hayan quedado un poco desactualizados y presenten eficiencias más bajas de lo normales, lo que se traduce en un consumo mucho mayor.

Para ver el consumo real en la vivienda entre los meses de septiembre 2021 y julio 2022, se adjunta la Tabla 2. Dicha tabla recoge las facturas reales de electricidad en la vivienda (en el Anexo 8.3 se muestra un ejemplo de dicha factura). Al igual que pasaba en el caso del gas, el término de potencia contratada es proporcional al número de días que comprende la factura, el término de energía varía con el consumo y el término de extras se realiza en concepto de ciertos cánones.

Tabla 2. Consumo de electricidad desde sep-21 hasta jul-22. (Fuente: Elaboración propia)

Inicio	Fin	Días	kWh	Suma del Importe			Total
				Contratada	Energía	Extras	
23/09/2021	21/10/2021	28	1.419	9,82 €	152,51 €	18,55 €	180,89 €
22/10/2021	22/11/2021	31	1.483	10,84 €	163,60 €	19,97 €	194,41 €
23/11/2021	21/12/2021	28	1.468	9,82 €	162,40 €	19,59 €	191,82 €
22/12/2021	22/01/2022	31	1.667	12,19 €	212,29 €	25,25 €	249,73 €
23/01/2022	20/02/2022	28	1.565	11,61 €	210,28 €	24,84 €	246,73 €
21/02/2022	24/03/2022	31	1.922	12,81 €	253,39 €	29,67 €	295,86 €
25/03/2022	21/04/2022	27	1.421	10,63 €	178,43 €	21,33 €	210,39 €
22/04/2022	22/05/2022	30	1.838	11,60 €	225,54 €	26,54 €	263,67 €
23/05/2022	22/06/2022	30	2.393	13,08 €	600,41 €	140,81 €	754,29 €
23/06/2022	20/07/2022	27	2.032	12,01 €	548,01 €	312,82 €	872,84 €

Lo más notable en la factura es el aumento que ha sufrido el término de la energía consumida y de los extras a partir de mayo de 2022. Aunque es verdad que el consumo ha sido mayor, el gasto contemplado ha subido de manera exponencial, llegando a pagar 750 y 870 € respectivamente, cifras que parecen completamente descabelladas. Estas cifras tan elevadas son el resultado de cambios legislativos en materia eléctrica que se traducen en precios de la energía (€/kWh) mucho más elevados y en extras muy elevados también. Estos extras que se han disparado son fruto de la compensación que tiene que pagar el mercado ibérico por el tope del gas (Fernández Molina M., 2022).

Por tanto, se demuestra también la necesidad de realizar cambios en la instalación de electricidad que permitan un menor consumo, dados los gastos eléctricos a los que hay que hacer frente actualmente. De este modo, aunque también se pueden realizar pequeños cambios en materia de iluminación y maquinaria que permitan aumentar la eficiencia, la alternativa más viable y que mejor puede dar la vuelta a la situación será la incorporación de paneles solares fotovoltaicos que permitan reducir la dependencia de la red eléctrica y sus altos precios.

Para poder ver bien las costumbres de consumo en la vivienda y dimensionar posteriormente la instalación fotovoltaica, será necesario sacar el consumo mensual de electricidad. Para ello, se ha utilizado la Tabla 2. Los resultados se muestran en la Ilustración 5. Tal y como se puede apreciar en dicha imagen, la tendencia durante el año es bastante plana, subiendo en los meses calurosos (mayo, junio y septiembre) por el uso de la ventilación. Tal y como pasaba con el gas, en los meses de julio y agosto el consumo baja porque la utilización es menor, pero se contrarresta con el uso de ventilación.

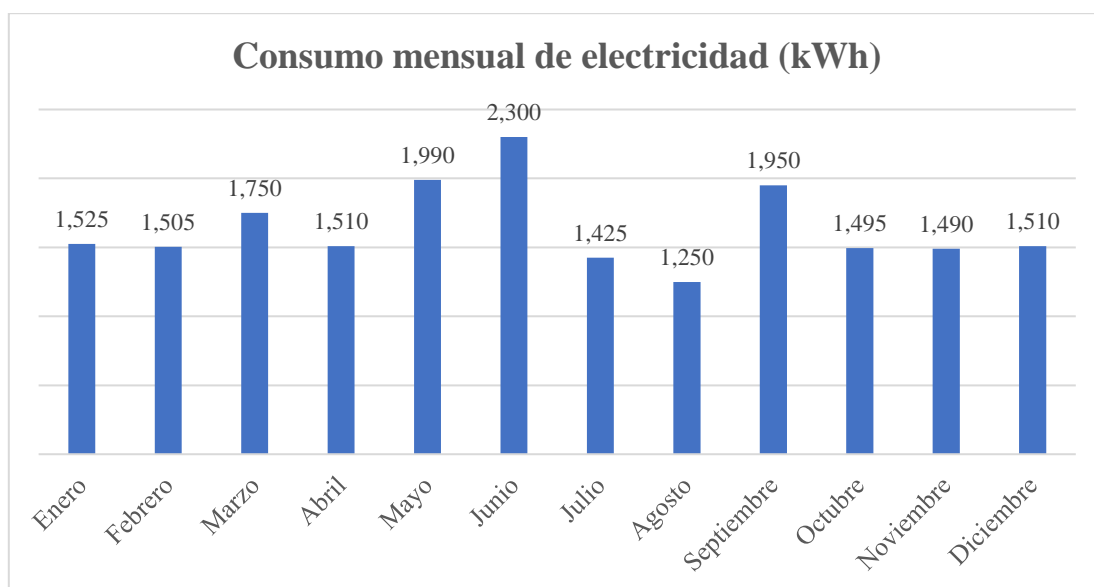


Ilustración 5. Consumo mensual de electricidad a lo largo del año (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

El hecho de que el consumo de electricidad sea prácticamente plano probablemente cambie tras la incorporación de las nuevas tecnologías de climatización en la vivienda. Por un lado, con la incorporación de aire acondicionado, se espera que el consumo suba un poco en verano, mientras que, por el otro, con la incorporación de tecnologías como la aerotermia o la geotermia, también se espera que el consumo de electricidad suba notablemente. Para tener en cuenta todas estas situaciones habrá que simular distintos escenarios haciendo discriminación horaria de la demanda.

2.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES SOBRE EL TFG. NECESIDAD DE CONTINUAR CON EL PROYECTO

Con una situación muy parecida (aunque menos pronunciada, fruto de un contexto actual más inestable) se empezaba dos años atrás este proyecto de remodelación energética. Como bien se ha ido comentando, dicho proyecto nacía con una visión cortoplacista y con una filosofía basada en el reemplazo de ciertos puntos de distintas instalaciones. Siguiendo con el plan establecido, el objetivo de este subapartado será realizar un resumen del trabajo realizado en el TFG. Este resumen permitirá conocer de primera mano la problemática a la que se hizo frente y los resultados que se obtuvieron, sin tener que leer por completo el trabajo realizado dos años atrás.

De esta manera, en primer lugar, se realizará un resumen de la problemática existente en la vivienda y las áreas de actuación que comprendió dicho trabajo. Esto servirá también para resumir el apartado anterior y para ver qué es lo que ha cambiado con respecto a dos años atrás. Posteriormente, se resumirán los resultados a los que se llegaron y los cambios exactos propuestos en dicho trabajo. A partir de estos resultados, se recordarán las conclusiones obtenidas en aquel trabajo. Finalmente, algunas de esas conclusiones serán revisadas y se aportarán nuevas perspectivas al respecto de los resultados obtenidos que permitirán avalar de manera clara la realización de este TFM.

2.2.1. CONTEXTO DEL TFG Y ELECCIÓN DE LAS ÁREAS DE MAYOR INTERÉS

El apartado 2.1 en su conjunto ha servido para comprender la problemática actual a la que tiene que hacer frente la vivienda. A modo de resumen, a continuación, se muestran las líneas de actuación que han sido detectadas y comentadas en dicho apartado. No todas ellas están relacionadas directamente con el ámbito energético. Lo que se muestra es todos los ámbitos en los que la vivienda tiene un margen de mejora suficientemente alto, como para que se produzca una revalorización o un mejor aprovechamiento de la vivienda.

- Red de agua caliente con falta de presión
- Elementos de la red de agua en mal estado
- Radiadores con poca eficiencia y que no aportan el confort esperado
- Falta de aire acondicionado en la vivienda
- Aislamientos insuficientes en ventanas
- Tejado con características idóneas para albergar placas solares fotovoltaicas
- Consumo de agua muy elevado en los meses de verano debido a la instalación de riego y a la piscina
- Consumo energético muy alto en términos de gas y electricidad
- Gas y electricidad a precios muy altos fruto del contexto geopolítico
- Iluminación y maquinaria existente (electrodomésticos, bombas y elementos terminales) con bajos rendimientos
- Falta de aprovechamiento de gran parte del terreno de la vivienda

Estos puntos de actuación son exactamente los mismos que ya fueron detectados dos años atrás en el TFG tras una descripción muy detallada del terreno, de la vivienda y de las instalaciones hidráulicas de interés. Dado que la gran mayoría de los puntos de mejora más apremiantes estaban relacionados con la falta de confort y la ausencia de eficiencia, el proyecto nació con la intención de llevar a cabo cambios que permitieran conseguir mejoras energéticas en el interior de la vivienda. Es por esta razón por la que el alcance del trabajo no se centra en otros aspectos como son el gasto de agua en regado y piscina o en aspectos estructurales o de aprovechamiento del espacio.

De este modo, quedaba claro que, dos años atrás, el proyecto debía girar alrededor de aspectos de confort y de aumentos de eficiencia en el interior de la vivienda. No obstante, en aquel momento los precios de la electricidad y del gas no eran tan disparatados como los son a día de hoy. Es por ello por lo que, aunque su consumo fuera muy alto, no era tan apremiante el hecho de rediseñar nuevas instalaciones o intentar autoabastecerse al máximo. Por ello, se decidió que con estudiar las instalaciones más críticas y pensar en cambios en concreto, era suficiente para cumplir con los objetivos de aumentar el confort y la eficiencia de la vivienda. De este modo, se decidió que las dos áreas de estudio del trabajo serían:

- **Climatización de invierno:** Dado que la instalación aporta poco confort y presenta ineficiencias se decidió centrar la atención en dos de los elementos que más influían en una correcta climatización: la calefacción y los aislamientos.
- **Bombeo de la red de agua caliente:** Se quería resolver el problema de la falta de presión en determinados puntos terminales de la instalación de agua caliente mediante la instalación y/o recambio de las bombas hidráulicas.

2.2.2. DECISIONES TOMADAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Con el contexto explicado y con los temas objeto de estudio mostrados en el punto anterior se realizó el desarrollo del TFG, el cual, tal y como se ha ido explicando, analizaba de manera cuidadosa los elementos de las diferentes instalaciones objeto de estudio y, en base a su estado y a su importancia dentro del conjunto, se decidía si merecía la pena ser reemplazado. En este apartado se van a resumir las soluciones propuestas y los resultados obtenidos en ambos ámbitos. Para ello, se van a reutilizar algunas de las tablas y gráficos utilizados en el capítulo de análisis del TFG.

2.2.2.1. Resultados y conclusiones en el ámbito de la climatización de invierno






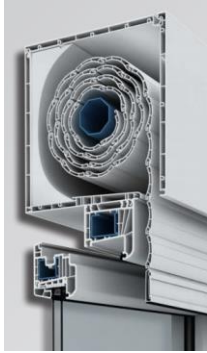
En el ámbito de la climatización de invierno se hicieron cambios, por un lado, en la red de calefacción y, por otro, en los aislamientos en ventanas. El resumen de todas las decisiones tomadas en la red de calefacción, componente a componente se explica en la Tabla 3. Todas las características de los componentes que aparecen en dicha tabla, tanto los existentes, como los propuestos, se encuentran en el capítulo 8.2.2.1 del Anexo.

Tabla 3. Resumen de las modificaciones en la red de calefacción. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

	ACTUAL	MODIFICACIÓN	EXPLICACIONES
<i>Temperatura Media del Agua</i>	70 °C	60 °C	Aumento del rendimiento de la instalación ($\Delta T = 40$ °C). Ahorro en combustible.
<i>Caldera</i>	Ferrolí GN1 05 	NO	Caldera de gran calidad y en perfecto estado. Con una temperatura media del agua a 60 °C tendrá un rendimiento mayor. Capacitada para hacer frente a la demanda sobradamente.
<i>Quemador</i>	Lamborghini EM 	NO	Quemador con un gran rendimiento y sin necesidad de recambio.
<i>Bomba Circuladora</i>	Grundfos UPS 25-80 180 	Grundfos Magna3 25-80 180 	Bomba de alta eficiencia capaz de ajustarse a la demanda. Ahorro energético.
<i>Radiadores</i>	Baxi Clásico (Hierro fundido) 	Ferrolí Europa C (Aluminio) 	Aumento del rendimiento de la instalación. Ahorro energético. Aumento considerable del confort de la vivienda.
<i>Válvulas de los Radiadores</i>	Normales 	Termostáticas 	La temperatura fijada por los usuarios se mantiene constante. Ahorro energético.
<i>Purgadores</i>	Manuales	Automáticos	Aumento del rendimiento de la instalación.

Aparte de los cambios en la red de calefacción, también se propusieron mejoras en los aislamientos. Esto se tradujo en el cambio de prácticamente todas las ventanas de la vivienda. En la Tabla 4 se muestran los cambios realizados.

Tabla 4. Resumen de las modificaciones en aislamientos. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

	ACTUAL	MODIFICACIÓN
<i>Perfiles</i>	Madera 	PVC KÖMMERLING EuroFutur Elegance 
<i>Acristalamiento</i>	Vidrio simple 	Vidrio doble (Climalit) 
<i>Persianas</i>	PVC 	PVC KÖMMERLING RolaPlus 

Por tanto, como se ha venido comentando, el objetivo de estos cambios era, por un lado, aumentar el confort de la vivienda y, por otro que se llevara a cabo el ahorro energético. Se puede decir que, con la inclusión de todas estas mejoras, estos objetivos fueron conseguidos. No obstante, a continuación, se va a desgranar un poco más este análisis, para ver cómo afecta cada una de las medidas al aumento del confort y al aumento de la eficiencia.

Para hacer el análisis comentado se va a utilizar la Ilustración 6, en la que se muestra cómo va bajando el gasto – de manera práctica en algunos casos y de manera teórica en otros – según se van analizando diferentes cambios en la instalación. A la vez, se comentará como influye esto en el confort del inmueble. Hay que tener en cuenta que no se está haciendo referencia a gasto económico directamente. Realmente, se está haciendo referencia al consumo, ya que, el gasto y el consumo no son directamente proporcionales en la factura del gas, tal y como se ha visto en el apartado 2.1.2.2.

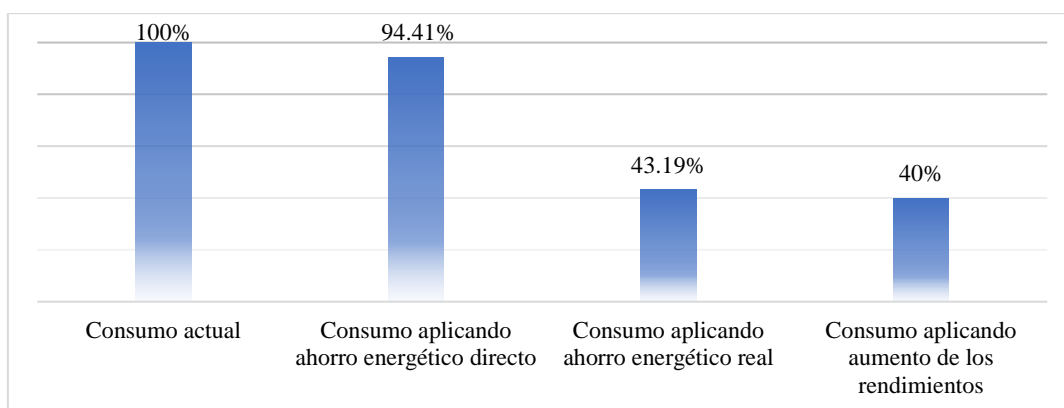


Ilustración 6. Diagrama de barras del gasto energético total. (Fuente: TFG)

- **Consumo actual (100%):** El gasto actual hace referencia únicamente al consumo anual de gas natural máximo en la vivienda sin realizar ningún tipo de modificación en la climatización de invierno y suponiendo que trabaja al 100% de demanda en todo momento. Realmente, este consumo muchas veces se está midiendo en términos de potencia calorífica entregada, la cual sí que se puede suponer completamente proporcional al consumo de combustible.
- **Consumo aplicando medidas de ahorro energético directo (94%):** Este gasto pretendía medir el impacto en el consumo que suponía el redimensionamiento de los nuevos radiadores en conjunto con las medidas en cuestión de aislamientos. El hecho de contar con una vivienda que iba a estar bien aislada tras los cambios propuestos en las ventanas permitía llevar a cabo un redimensionamiento de la instalación de calefacción que teóricamente permitiría ahorrar entre un 30 y un 40%. De este modo, los nuevos radiadores fueron redimensionados para cada habitación teniendo en cuenta los factores de aislamiento (alto), tamaño de la estancia y temperatura exterior (dependiente de la zona climática de la vivienda y de la orientación y exposición de la habitación en cuestión al exterior).

Tras llevar a cabo este análisis en términos de potencia calorífica aportada, el ahorro total en potencia calorífica resultaba ser únicamente del 6%, es decir, bastante lejos de ese 30% esperado. No obstante, si se analiza cuidadosamente, este resultado de ahorro es completamente lógico. Al fin y al cabo, la vivienda presentaba problemas de confort fruto de un mal dimensionamiento inicial (aunque también fruto del mal estado de los radiadores actuales). De este modo, con los nuevos radiadores, aparte de asegurar un ahorro directo del 6%, se garantizaba el confort adecuado en la vivienda.

- **Consumo aplicando medidas de ahorro energético real (43 %):** Los cambios comentados en el punto anterior se denominaban directos porque afectaban a la demanda máxima para la que estaba dimensionada la instalación. Con la instalación existente, esa demanda máxima es la que se cubriría en todo momento independientemente de las necesidades reales. Sin embargo, con la introducción de la bomba de alta eficiencia para el circuito de calefacción (Grundfos Magna3) y con la inclusión de válvulas termostáticas en los radiadores, la instalación sí que sería capaz de adaptarse en cada momento a las necesidades reales. En el TFG, se demostraba de manera teórica que con la inclusión de estas medidas se podía llegar a ahorrar un 54% con respecto a una instalación trabajando al 100% en todo momento. Ese ahorro, en conjunción con el ahorro directo, supone un ahorro del 57%, o lo que es equivalente, un consumo del 43% del total.
- **Consumo aplicando medidas de aumento del rendimiento (40%):** Todas las mejoras en el ámbito de la climatización que no han sido comentadas hasta ahora se enmarcan en este punto. Es decir, decisiones como el hecho de elegir radiadores de aluminio de última generación, o cambiar la temperatura a la que deba trabajar el líquido en la instalación, o el hecho de incluir purgadores automáticos, contribuyen a un aumento del rendimiento de la instalación que permite hacer una conversión mucho más eficiente del gas natural. Poniendo todo en común, se consideraba que el ahorro logrado era del 60% (consumo del 40%).






2.2.2.2. Resultados y conclusiones en el ámbito del bombeo

En el ámbito del bombeo se realizó una extensa revisión de toda la red de agua caliente de la vivienda para, por un lado, dar solución a todos los problemas de presión existentes y, por el otro, aumentar la eficiencia de ciertas subredes, tal y como se ha comentado para el apartado de la calefacción. El trabajo realizado consistió básicamente en analizar los dos factores más importantes en el mundo del bombeo: las bombas hidráulicas y el circuito de tuberías existente de cobre. Con respecto al segundo factor, el circuito de tuberías, se decidió no realizar ningún cambio. Es cierto que algunas partes de los diferentes circuitos se encontraban en un estado deficiente, no obstante, a corto plazo no suponían ningún problema.

De este modo, el análisis se centró en analizar la idoneidad de las bombas existentes o en la posibilidad de incluir alguna bomba en puntos del circuito que fueran necesarios. Para ello, se estudiaron por separado los tres subcircuitos explicados en el punto 2.1.2.1, cuyos esquemas se muestran en el capítulo 8.1.4 del Anexo. Los objetivos que se marcaron en este análisis fueron el realizar un correcto dimensionamiento del caudal y de la presión para cada circuito, y que las decisiones estuvieran guiadas siempre por el criterio de minimización de los costes del ciclo de vida de las bombas.

Con estas premisas, tras un elaborado análisis se llegaron a los resultados que se muestran en la Tabla 5. En dicha tabla se muestra, para cada subcircuito, su función, el estado en el que se encuentra, la bomba actual si la hubiere y la modificación propuesta. Además, se incluye una breve explicación a modo de conclusión y las imágenes reales de las bombas elegidas. Los datos de dichas bombas se encuentran en capítulo 8.2.2.2 del anexo.

Tabla 5. Resumen de las decisiones tomadas en el ámbito del bombeo. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

RED	FUNCIÓN	SITUACIÓN	BOMBA ACTUAL	MODIFICACIÓN	EXPLICACIÓN
<i>Principal ACS</i>	Circuito abierto que comienza en el depósito de ACS y lleva agua caliente sanitaria a todos los puntos de la vivienda.	El sistema presenta problemas de presión. Cuando se abre más de un grifo, no es posible hacer frente a la demanda.	-	 <p>Grundfos CME 1-2A</p>	Se ha elegido la bomba adecuada que es capaz de acabar con los problemas de presión existentes en la red.
<i>Recirculación ACS</i>	Sistema que recircula el agua caliente sanitaria que queda en las tuberías hacia el depósito, de manera que se eviten pérdidas.	La red parece que funciona de forma óptima. Simplemente se lleva a cabo una revisión.	 <p>Grundfos Comfort 15-14 B PM</p>	NO	La bomba cumple su función de manera óptima. Por tanto, no es necesario un recambio.
<i>Calefacción</i>	Sistema cerrado que nace en la caldera y transporta el agua a todos los radiadores de la vivienda.	Tras el cambio de los radiadores es necesario comprobar que la bomba sigue siendo adecuada para el puesto. Aparición de bombas de alta eficiencia.	 <p>Grundfos UPS 25-80 180 (Asíncrona)</p>	 <p>Grundfos Magna3 25-80 180 (Imán P.)</p>	La elección de una bomba de alta eficiencia que permite adaptarse a la demanda supone un gran ahorro energético.
<i>Circuito - Depósito</i>	Sistema cerrado que nace en la caldera y sirve para calentar el agua caliente sanitaria acumulada en el depósito.	La red funciona de manera correcta. La bomba actual es de la marca Wilo, lo que impide la unificación de marcas.	 <p>Wilo LARS 25/6 3P</p>	NO	La bomba cumple su función de manera óptima. Por tanto, no es necesario un recambio.

Dado que el análisis de estos resultados es mucho más cualitativo no hace falta meterse en mucho más detalle sobre el nivel de dimensionamiento de las bombas o cómo se comprobó que efectivamente las bombas elegidas minimizaban los costes del ciclo de vida. Simplemente y a modo de recordatorio, en el capítulo 8.3 del Anexo, se ha incluido la tabla en la que se resume el proceso de dimensionamiento de cada una de las bombas elegidas. Por tanto, a modo de resumen, se puede concluir que las medidas propuestas cumplían con los objetivos y son una solución viable en el largo plazo, inclusive si se decide realizar cambios en los circuitos de tuberías.

2.2.2.3. Resumen presupuestario

El desembolso total resultante de realizar todos los cambios propuestos en la vivienda resultaba ser de 23.987,47 €, el cual se puede desglosar de la manera indicada en la Tabla 6 y en la Ilustración 7. El presupuesto más detallado se puede encontrar en el Documento 2 de este TFM, en el que se desglosa el coste exacto de cada ventanal, de cada bomba y de los elementos totales de los radiadores. El coste de fontanería hace referencia a los costes de instalación de todas las mejoras.

Tabla 6. Resumen del desembolso realizado (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

N.º	Apartado	Subtotales (€)
1.	Radiadores	4445,85
2.	Ventanas	10798,14
3.	Bombas	2583,35
4.	Fontanería	6160,13
PRESUPUESTO TOTAL		23987,47 €

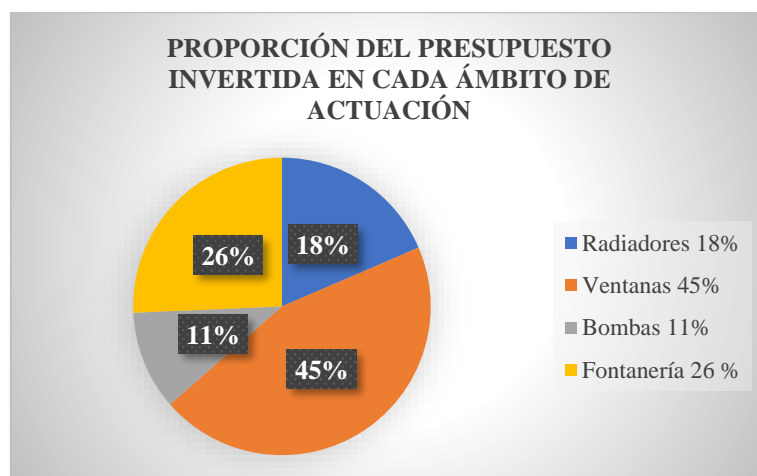


Ilustración 7. Proporción del presupuesto invertida en cada ámbito de actuación. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

2.2.3. AMPLIACIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES. JUSTIFICACIÓN DEL TFM.

Hoy, exactamente dos años más tarde de la realización de aquel TFG, se considera que hay algunos de los resultados y conclusiones aportados que merece la pena repasar, fruto de una perspectiva y un conocimiento mayor en la materia. Además, esta nueva perspectiva va a permitir sacar otras conclusiones más genéricas que van a ser capaces de avalar la realización del TFM.

Uno de los resultados más llamativos y que avalaban directamente la realización del proyecto era el hecho de conseguir un ahorro del 60% en el consumo de gas natural. Ese ahorro del 60% en consumo era un número teórico y que estaba realizado sobre una instalación que teóricamente estaba trabajando a su 100% en todo momento. No obstante, la instalación existente, aunque está lejos de trabajar eficientemente, no está trabajando a su máximo todos los días del año. De hecho, ni se acerca.

El ahorro directo (el del redimensionamiento de los radiadores) sí que se trataba de un ahorro práctico. Sin embargo, el ahorro real (por incluir bomba de alta eficiencia y válvulas termostáticas) era un ahorro puramente teórico que no se llegó a contrastar. Esto se hizo así porque en aquel momento no había datos suficientes acerca de las facturas de gas. No obstante, con los datos aportados en la Tabla 1, en la que se mostraba el consumo de gas natural a lo largo del año, se puede realizar la Tabla 7. En ella se agrupa el consumo de gas natural de cada una de las facturas de menor a mayor a lo largo del año.

Tabla 7. Consumo de gas natural a lo largo del año 21-22 agrupado de menor a mayor
(Fuente: Elaboración propia)

Número de días	Consumo (m ³)	% sobre el máximo
60	66	3%
55	139	6%
15	170	8%
46	498	23%
61	1.007	46%
56	1.765	80%
62	2.197	100%
Consumo anual	5.842	

Con esta tabla se puede comparar cuál es el consumo actual de gas con respecto a si se compara con estar trabajando en todo momento al 100% de demanda. Estar trabajando al 100% de demanda todo el año sería extrapolar el consumo de 2.197 m³ a los 365 días del año. El resultado se muestra en la siguiente operación.

$$\frac{2.197}{62} \cdot 365 = 12.944 \text{ m}^3 \text{ anuales}$$

Si comparamos este dato con el consumo anual obtenido en 2022 – que se puede aproximar por 6000 m³, dado que el número de días no llega a 365 – se obtendría un consumo con respecto al máximo de:

$$\frac{6.000}{12.944} = 46 \% \text{ sobre el gasto máximo}$$

De este modo, se está comprobando que, realmente el ahorro real que se calculaba de manera teórica por el hecho de incluir una bomba de alta eficiencia y válvulas termostáticas ya se está consiguiendo de manera exactamente igual de manera manual. Es decir, conectando y desconectando parte de la instalación según las necesidades en cada momento. Por tanto, se puede concluir que el ahorro práctico en gas natural sumando las medidas en radiadores y aislamientos (ahorro del 6%), más todos los cambios en materia de bombas, maquinaria y forma de funcionar que afectan al rendimiento conseguirían un ahorro práctico en consumo de alrededor de un 15-20%. Este cambio se muestra en la gráfica de la Ilustración 8.

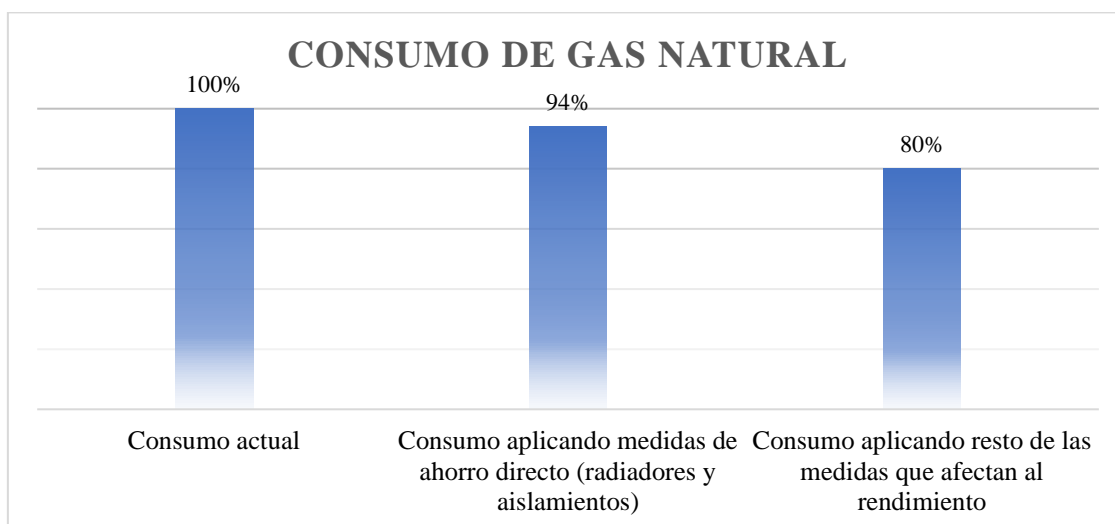


Ilustración 8. Diagrama de barras revisado sobre el consumo de gas natural. (Fuente: Elaboración propia)

Si el ahorro en consumo se tradujera directamente a un ahorro económico, todas las medidas permitieran un ahorro anual de aproximadamente un 20% en la factura del gas. Este ahorro conseguido por sí solo estaría bastante lejos de poder avalar la introducción de los cambios que se realizaron en el TFG. Sin embargo, aunque parte del objetivo era aumentar la eficiencia de la instalación y conseguir un ahorro energético y económico, como todas las medidas estaban dirigidas al aumento del confort, no hacía falta una justificación económica para la introducción de los cambios. Al fin y al cabo, el proyecto se justificaba por sí solo. Además, hay ciertas mejoras, como la introducción de una bomba impulsora en el circuito principal de ACS, o la introducción de radiadores en habitaciones en las que antes no había que no producen ningún tipo de ahorro, sino más bien un gasto extra que antes era inexistente.

Esta es la razón por la que, aunque se aportó un presupuesto completamente real y desglosado, en ningún momento se llegaron a realizar ningún tipo de análisis financiero que calculará de manera exacta el ahorro económico que suponía la introducción de las medidas en la vivienda. Es decir, unos cálculos financieros que permitieran saber cuándo se iba a poder recuperar la inversión de las medidas introducidas. En este preciso momento, dos años más tarde parece que tampoco tiene sentido ponerse a hacer este tipo de cálculos teniendo en cuenta que estos cambios no van a ser los definitivos y que el ahorro económico es únicamente del 20%.

La verdadera realidad con la que se encuentra la vivienda en este punto del tiempo es que, si aparte de aumentar el confort, se quiere conseguir un ahorro energético y económico más significativo hay que plantearse realizar cambios más grandes que impliquen cambiar la forma de obtener la energía. Es decir, sustituir el gas natural y abrir una nueva línea de análisis entorno al ahorro de electricidad relacionado con la instalación de paneles solares FV. El tener que realizar cambios más importantes en las fuentes de energía directamente implica el hecho de pensar en un plazo más largo y de plantearse rediseñar ciertos aspectos de las instalaciones. Es por esta misma razón por la que, a la par de introducir nuevas formas de conseguir la energía en la vivienda, se realizarán cambios integrales más grandes, como es la introducción de aire acondicionado en la vivienda.

Esto no quiere decir que los cambios pensados durante el TFG vayan a ser descartados, ni mucho menos. No obstante, algunas de ellas tendrán que ser revisadas cuidadosamente. De las tres áreas de mejora estudiadas – aislamientos, red de calefacción y bombas –, la única que se mantendrá de manera íntegra serán los cambios propuestos en materia de aislamientos. En cuanto a las otras dos áreas de mejora, tendrán que ser revisados tanto los cambios en materia de bombeo, como los cambios propuestos en materia del circuito de calefacción. Habrá escenarios en los que estos cambios seguirán aplicando, mientras que habrá otros en los que se descartarán por completo.

De este modo, el proyecto de renovación energética quedará completado con la realización de este TFM. Se realizarán dos capítulos por separado, por un lado, para el estudio de la climatización, tanto de invierno como de verano, y de toda la red de agua caliente, y por el otro para la inclusión de los paneles solares fotovoltaicos en el tejado del inmueble. Tras la realización de estos dos capítulos, en las que el ahorro energético será el objetivo, se unirán las medidas propuestas en el TFG, asegurando, de esta manera, una vivienda en la que tanto el ahorro energético, como el confort estarán asegurados. Para probarlo, esta vez sí, se desarrollarán los cálculos financieros pertinentes que permitan demostrar el ahorro económico prometido.

3. LA CLIMATIZACIÓN DE LA VIVIENDA. ANÁLISIS DE DIFERENTES ESCENARIOS

Tal y como se ha comentado en el capítulo introductorio del proyecto, aunque en el estudio realizado en el TFG se proponían mejoras directas sobre el tema de la climatización de invierno, estas propuestas pretendían ser muy prácticas, directas y a corto plazo. Es decir, como la calefacción suponía un gasto excesivo y el confort no era el adecuado, con redimensionar los radiadores y cambiarlos por radiadores de última generación, con elegir buenos aislamientos y con poner una bomba autorregulable y de máxima eficiencia, el problema se arreglaba de una manera rápida y económica.

No obstante, en este proyecto lo que se pretende es realizar un análisis más detallado y global de las diferentes posibilidades y tecnologías existentes a la hora de elegir la climatización de la vivienda. Esta idea proviene de la necesidad de rebajar los gastos energéticos mediante la sustitución del gas natural, de la necesidad de incluir climatización de verano y de la posibilidad de pensar en un plazo más largo que el que se pensó dos años atrás con la realización del TFG. Al fin y al cabo, se trata de un proyecto que pretende ser ejecutable, pero que no tiene prisa por ser ejecutado. Por tanto, hay que pensar en medidas a futuro.

En este capítulo se va a repensar y rediseñar desde cero la instalación de climatización de la vivienda en su conjunto, incluyendo tanto invierno, como verano, y se van a presentar diferentes alternativas. Es importante tener en cuenta que el alcance de este análisis únicamente incluye las instalaciones de climatización, pues la climatización de una vivienda cuenta con más elementos que son indispensables, como por ejemplo los aislamientos. No obstante, las medidas en términos de aislamientos ya fueron correctamente especificadas en el TFG, por lo que no serán discutidas en este capítulo, aunque sí se tendrán en cuenta para los correspondientes cálculos de consumo y ahorro energético de cada escenario.

Hay que puntualizar el hecho de que este apartado del proyecto simplemente pretende servir de análisis y presentación de las mejores opciones, sin embargo, las decisiones y la posible unión con el trabajo que ya se realizó, se hará en capítulos posteriores. Siguiendo con la filosofía descrita, en primer lugar, se hará un estudio extenso de los tipos de climatización existentes hoy en día que servirá como recogida de información e introducción al capítulo. Con el conocimiento de todas las tecnologías existentes adquirido, se decidirán los escenarios que puedan tener sentido dentro de la vivienda objeto de estudio. Finalmente, ya se estará en disposición de diseñar y dimensionar todas las opciones que podrían ser realmente viables. Todos los escenarios elegidos tendrán asociado un presupuesto y unos cálculos de consumo y ahorro energético que servirán para valorar en el capítulo posterior si formarán parte del proyecto ejecutable.

3.1. INTRODUCCIÓN A LA CLIMATIZACIÓN

Siguiendo la definición del RITE, climatizar consiste en proporcionar las condiciones adecuadas de temperatura, humedad relativa y calidad del aire, de manera que se consiga el confort térmico de los ocupantes y un uso racional de la energía (sin malgastarla). Estas condiciones ideales de temperatura y de humedad relativa vienen definidas en el RITE. La Tabla 8 muestra dichas condiciones, las cuales serán de utilidad en pasos posteriores.

Tabla 8. Condiciones ideales de climatización. (Fuente: RITE)

ESTACIÓN	TEMPERATURA	HUM. RELATIVA
Verano	23 a 25 °C	45 a 60 %
Invierno	21 a 23 °C	40 a 50 %

A la hora de diseñar la climatización se valora la diferencia entre las temperaturas exteriores e interiores, así como las cargas térmicas de los edificios. Estas cargas son externas o internas; sensibles o latentes, según si lo que hacen es cambiar la temperatura o la humedad; y positivas o negativas, según si son aportes o pérdidas de calor.

De este modo, cada inmueble tiene unas necesidades de climatización diferentes. Unos requieren únicamente refrigeración, otros solo calefacción, y otros pueden requerir de ambas. La vivienda objeto de estudio actualmente solo cuenta con calefacción. Sin embargo, dadas las condiciones climáticas de la Comunidad de Madrid, sería muy recomendable – e incluso necesario – la instalación de climatización de refrigeración. A continuación, se resumen de manera breve las tres opciones de climatización existentes según su uso, indicando las tecnologías más comunes en cada caso:

- **Solo Calefacción:** Este es el caso de la residencia de Montepríncipe, tal y como ya se ha comentado en varias ocasiones. El funcionamiento más común es exactamente el caso relatado e ilustrado en el capítulo previo. Lo normal es contar con una caldera, cuya misión es calentar el agua a través de la quema de combustible. El combustible de la caldera suele ser gas natural, no obstante, hoy en día existen opciones variadas que merecerá la pena analizar más adelante. El agua calentada en la caldera se distribuye por un entramado de tuberías, normalmente gracias a bombas hidráulicas. Dicha agua se utiliza directamente para su aprovechamiento (ACS) o se distribuye a emisores finales. Los emisores más comunes son los radiadores de agua y el suelo radiante, que calientan el aire gracias al intercambio de calor con el agua que fluye por ellos.
- **Solo Refrigeración:** Se trata de instalaciones en las que el único objetivo es aportar frío (o retirar calor), bien porque se trata de un inmueble situado en un lugar muy caluroso en el que no hace falta calefactar, o bien porque la refrigeración de la vivienda se hace de manera completamente independiente a la función de calefacción. En esta opción, la configuración más típica consiste en instalar aires tradicionales o enfriadoras de agua con emisores tipo split.

- **Frío-calor:** La opción más común hoy en día para instalaciones nuevas es la incorporación de bombas de calor. Estas bombas incorporan una válvula capaz de invertir el ciclo refrigerante. De esta manera, son capaces de adaptarse a las necesidades en cada momento, aportando calor en invierno y frío en verano.

Una vez visto que la climatización puede ser para generar calor, para generar frío o para ambas a la vez, hay dos distinciones extra que se pueden seguir haciendo. La primera distinción se basa en la configuración de la vivienda. Cuando se trata de unos cuantos bloques de viviendas o de pisos se utiliza climatización de tipo centralizada, y cuando se tratan de viviendas unifamiliares, como es el caso en este proyecto, la climatización se realiza de manera individual para cada vivienda.

Por último, merece también la pena hacer la distinción de si el fluido que se utiliza para climatizar es el aire o es agua. En este aspecto, hay que hacer dos puntualizaciones. La primera de ellas es que no se está haciendo referencia a los fluidos utilizados para generar el calor o el frío en la caldera o en la bomba correspondiente, – esto se estudiará más adelante – sino a los fluidos que directamente circulan por los conductos de las viviendas y que son encargados directos de calentar o enfriar el ambiente. La segunda puntualización es el hecho de que únicamente se está hablando de instalaciones de climatización completas, excluyendo así emisores eléctricos, de biomasa y de cualquier otro tipo de refrigerante. De este modo, siguiendo con la discusión del tipo de fluido utilizado, a nivel civil (no industrial), lo normal es contar con circuitos de calefacción que llevan agua caliente en su interior, y con circuitos de refrigeración que transportan aire. No obstante, con las tecnologías existentes hoy en día, las posibilidades son infinitas y también se puede dar el caso contrario, es decir, aire para calefactar y agua para enfriar

3.1.1. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN CONVENCIONALES

Tal y como ya se ha venido introduciendo, los sistemas de calefacción convencional básicamente están formados por un entramado de tuberías que impulsan el agua caliente de la caldera a los emisores finales. En la Ilustración 9 se muestra un esquema básico de lo que supone un circuito de calefacción, en conjunto con el de agua caliente sanitaria.

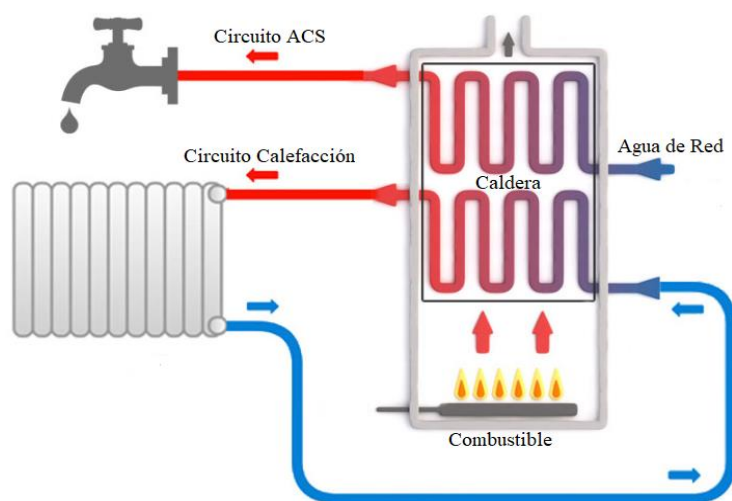


Ilustración 9. Sistema de calefacción convencional. (Fuente: Grupo Alzado)

Aunque el circuito mostrado en la Ilustración 9 es el más típico, la realidad es que los sistemas de calefacción convencionales se pueden clasificar de muchas maneras diferentes en función de diferentes variables y atributos. Las variables más importantes a analizar serían la energía o combustible utilizado en la caldera para calentar el fluido a transportar, la temperatura a la que trabaja la instalación, el hecho de incluir depósito de inercia, o los tipos de emisores utilizados. Existen otros criterios como el uso que se le da, el tipo de tubería utilizado, o el tipo de bomba de impulsión, sin embargo, dadas las condiciones de la residencia objeto de estudio, no merece la pena entrar en más detalle.

Aunque no son una opción viable para el marco de este trabajo, antes de empezar con la clasificación, hace falta mencionar aparte todos los tipos y formas de calefacción rápida que no implican tener una caldera y una red de tuberías. Dentro de este marco, destacan todos los tipos de calefacción eléctrica (radiadores, estufas o suelos eléctricos), la cual se nutre directamente de la red eléctrica para dar calor mediante la utilización de resistencias eléctricas. No obstante, también hay otras formas de calefacción rápida como son las propias chimeneas, o las estufas de pellets, que están a la orden del día últimamente.

Todas estas formas de calefacción son una opción muy recomendable para segundas residencias y lugares en los que no hace demasiado frío. Esto es así porque el precio de instalación es nulo y la electricidad es la fuente de energía más cara. Es por ello por lo que es ideal en sitios cálidos o que se utilicen pocas veces. No obstante, como este no es el caso de la vivienda objeto de estudio, a continuación, se va a realizar la clasificación de los tipos de calefacción convencionales.

3.1.1.1. Sistemas de calefacción en función de la energía utilizada:

- **Gas Natural:** Es la tecnología actual en la vivienda. El proceso se basa en la combustión del gas natural en una caldera. Históricamente, es el tipo de calefacción más común en España. Esto es, debido a que sus costes de instalación no son excesivamente altos y el precio del gas siempre ha sido inferior al de otros combustibles. Sin embargo, dada la situación geopolítica del gas, este hecho está tornando y cada vez se están buscando nuevas formas de combustible.
- **Gasoil:** Este sistema utiliza una caldera de gasoil para calentar el agua. A día de hoy siguen siendo una opción muy común en muchas partes de España dado que son una garantía a la hora de calentar espacios grandes. Además, tienen un precio moderado de instalación y ofrecen una gran durabilidad y poca necesidad de mantenimiento. No obstante, se trata de una opción más cara y contaminante que el gas natural y que también está sujeto a una fluctuación del mercado del petróleo.
- **Propano y Butano.** Se suelen utilizar en aquellos lugares en los que no se puede acceder a la red de distribución de gas natural. Solo se utiliza en estos lugares porque se tratan de opciones que casi duplican el precio del gas natural. El gas butano se proporciona en bombonas de 12 kg, mientras que el propano tiene diferentes formas de suministro: granel, envasado o canalizado-
- **Biomasa:** Su comportamiento es similar al de cualquier otra caldera, solo que en este caso, la fuente de energía son combustibles naturales. Lo más normal es utilizar pellets de madera, aunque también existe biomasa a partir de huesos de

aceituna, residuos forestales, etc. Aunque son calderas más costosas que las de gas y que necesitan de espacio de almacenaje, las ventajas son que el precio de la biomasa es estable y económico, y utilizan una energía limpia e inagotable.

- **Eléctrica:** Aunque son menos comunes, también existen calderas de tipo eléctrico que se inscriben dentro de circuitos de calefacción convencional. No obstante, la discusión es exactamente la misma que la realizada en la introducción para los emisores de tipo eléctrico.

3.1.1.2. Sistemas de calefacción instantáneos o con depósito de inercia

La segunda de las variables que merece la pena revisar dentro de los sistemas convencionales de calefacción con tuberías de agua caliente es el uso de depósitos de inercia para almacenar el calor y que la fuente energía no trabaje de forma instantánea:

- **Sistemas de calefacción instantáneos:** Es el mostrado en la Ilustración 9. El agua que se calienta en la caldera directamente se conduce a los emisores finales para que se haga uso de ella. De este modo, el circuito debe estar dimensionado para poder asumir todas las modulaciones que se producen en la red de calor. Es decir, tanto los picos de demanda, como los constantes arranques y apagados en las épocas más cálidas.
- **Sistemas de calefacción con depósito de inercia.** Los depósitos de inercia son depósitos de almacenamiento del calor para, posteriormente, distribuirlo a la red cuando sea necesario. De este modo, se evita que la caldera esté encendiéndose y apagando constantemente y, además, se puede utilizar para abastecer los picos de demanda, pudiendo así utilizar calderas de menor tamaño. Los circuitos de ACS suelen contar con acumuladores, cuya función es muy parecida. Para circuitos de calefacción, es más común en instalaciones grandes y en calderas de biomasa, donde los arranques y las paradas no vienen tan bien. Además, se suelen utilizar también en aerotermia y en geotermia, pero esto se explicará más adelante en los sistemas frío-calor.

3.1.1.3. Sistemas de calefacción según el tipo de emisor (y temperatura de trabajo)

Los dos emisores más utilizados en los circuitos de agua caliente dedicados a la calefacción son los radiadores y el suelo radiante. Dentro de estos dos, ambos pueden contener agua en su interior o ser de tipo eléctrico. No obstante, en este trabajo solo se van a estudiar los de agua. Además, dichos circuitos de agua pueden trabajar a altas temperaturas, o a bajas temperaturas, que también está relacionado con el tipo de emisor utilizado. Hay que decir que los circuitos convencionales de calefacción suelen trabajar a altas temperaturas cuando se trabaja con calderas. Aunque también existe la posibilidad de trabajar a bajas temperaturas, esto es más común en los sistemas de calefacción con bombas de calor. Todo ello se explica a continuación.

- **Radiadores:** Los radiadores se nutren de un circuito de tuberías por el que circula el agua caliente. Cuando el agua proviene de una caldera y esta se impulsa a una temperatura entre 70 y 80 °C, se consideran radiadores de alta temperatura, como en el caso de la vivienda estudiada. Por el contrario, los radiadores de baja temperatura tienen temperaturas de impulsión de entre 40 y 60 °C, lo cual mejora la eficiencia de la instalación. Estos se utilizan también para calderas, aunque son más indicados en aerotermia y geotermia. En el TFG, se decidió cambiar los radiadores actuales de alta temperatura por radiadores de baja temperatura.
- **Suelo radiante:** En este caso los tubos que transportan el agua caliente se encuentran embebidos debajo del suelo, permitiendo que la distribución del calor sea completamente uniforme. Esta tecnología se utiliza con temperaturas bajas del agua tanto con calderas, como con aerotermia y geotermia. Es especialmente recomendable utilizarlo con bombas de calor (aerotermia y geotermia), dado que también sirve para enfriar el ambiente en verano cuando la temperatura del agua es de entre 14 y 18 °C. Su instalación es más costosa que la de los radiadores, pero la eficiencia mejora notablemente. El incremento de la eficiencia por utilizar suelo radiante se puede explicar de manera muy clara con la Ilustración 10, dado que el calor se distribuye de una manera mucho más equitativa por la sala que se pretende calentar.

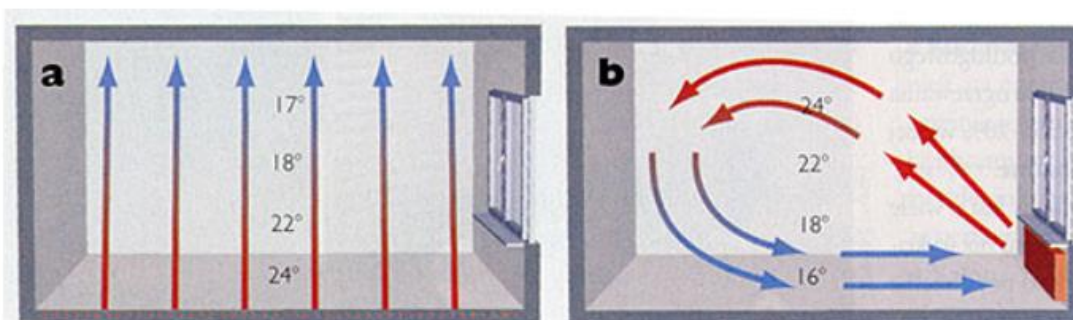


Ilustración 10. Calefacción por suelo radiante (a) vs por radiadores (b). (Fuente: alpinocl)

3.1.2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Antes de empezar con cualquier tipo de clasificación, merece la pena explicar el fundamento de cualquier sistema de refrigeración existente, ya sea una instalación de aire acondicionado convencional, o la nevera de nuestros hogares. La mayoría de los ciclos de refrigeración se basan en el ciclo de Rankine inverso, tal y como se muestra en la Ilustración 11. Aunque el esquema mostrado puede sufrir pequeñas variaciones según el caso, en esencia esos son los componentes de un ciclo de Rankine inverso.

Los fluidos utilizados en este tipo de ciclos son gases refrigerantes que soporten las temperaturas y características de cada ciclo. Hay que comentar que, la utilización de determinados gases refrigerantes halogenados en el pasado, han supuesto la destrucción de la capa de ozono. Es por esta razón por la que, hoy en día, este tema está muy regulado por las autoridades. El funcionamiento resumido del ciclo se explica a continuación de la figura.

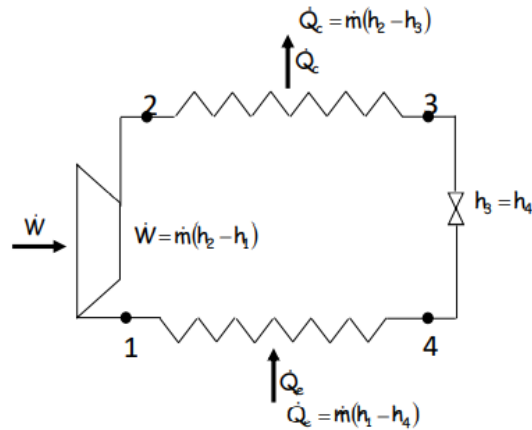


Ilustración 11. Ciclo de Rankine Inverso (Fuente: Asignatura de Ingeniería Energética. ICAI)

- **Compresor (1-2):** El gas refrigerante en estado gas se lleva al compresor, el cuál realiza un aporte de trabajo, comprimiendo el gas y aumentando su temperatura.
- **Condensador (2-3):** El condensador enfría el gas y lo lleva a fase líquida, haciendo que se expulse calor hacia el exterior.
- **Válvula de expansión (3-4):** Su función es reducir la presión del fluido hasta tal punto que se convierta en gas a baja temperatura.
- **Evaporador (4-1):** El evaporador calienta y sube la temperatura del gas, “robando” su energía interior. Este proceso es en el que se consigue bajar la temperatura del local o del aire.

Una vez entendido el funcionamiento de un ciclo de refrigeración, ya se está en disposición de comenzar con la clasificación. Cuando se trata de sistemas de refrigeración en una vivienda en la que no ha habido nunca dicha instalación, y con unas condiciones climáticas como las de Madrid, son multitud de opciones las que se pueden contemplar a la hora de elegir el aire acondicionado. En este apartado, en vez de hacer una clasificación según diferentes criterios, tal y como se hacía para el apartado de la calefacción, lo que se va a hacer directamente es exponer todas las posibilidades existentes, indicando en cada caso cómo se relacionan con el ciclo de Rankine inverso explicado anteriormente.

3.1.2.1. Sistemas de refrigeración sencillos y que no requieran de obra

La primera de las opciones consiste directamente en la adquisición de aires acondicionados portátiles o de ventana, o de ventiladores de agua fría o hielo. Los primeros cuentan con una sola unidad interior, que se puede desplazar, aunque es recomendable colocarlos cerca de las ventanas para que el tubo que emplean pueda extraer el aire caliente para pasarlo a frío siguiendo con el ciclo típico de refrigeración. Los ventiladores, por otro lado, lo único que hacen es mover el aire (no llevan a cabo el ciclo de Rankine inverso), pero cuando cuentan con agua fría o hielo, el aire que mueven delante de ellos es aire más frío.

Esta opción sería la equivalente a la de utilizar radiadores o estufas eléctricas para calefactar. Aunque son muy poco eficientes – y ruidosos en este caso, – como su utilización no es muy grande, es una situación ideal para instalaciones en segundas residencias o lugares en los que el calor no fuera excesivo. Si se tiene en cuenta que la vivienda objeto de estudio es una vivienda que, históricamente, siempre ha estado deshabitada en los meses más calurosos, esto sería una opción bastante viable. Bastaría con montar el aire acondicionado portátil o los ventiladores en las habitaciones más utilizadas y así, hacer frente a los meses más calurosos.

3.1.2.2. Sistemas de aire convencionales: multisplit o por conductos

Cuando el objetivo es refrigerar toda la vivienda, en vez de unos pocos espacios de la casa, entonces hay que empezar a plantearse hacer obras para la instalación de aire acondicionado convencional. Las dos opciones más comunes son la tecnología multisplit y el aire acondicionado por conductos. Cada una de las dos opciones tienen sus propios pros y contras y son más adecuados para determinadas situaciones.

- **Tecnología multisplit:** La tecnología split consta de un aparato exterior a la vivienda, que hace las veces de condensador (expulsa el aire caliente al exterior) e incorpora el compresor. Ese aparato exterior se conecta con el aparato interior por una serie de tuberías con el gas refrigerante en su interior. El aparato interno se denomina split, y hace las veces de evaporador, aportando el aire frío al interior de la vivienda. El hecho de que sea multisplit lo que permite es que, con un solo aparato externo, pueda funcionar más de un aparato interno (en algunos casos hasta ocho). En la Ilustración 12 se muestra un sistema multisplit. Este tipo de instalaciones son recomendables en lugares que no cuenten con una preinstalación de conductos, si se quieren climatizar solo algunas zonas específicas de la casa o la casa es pequeña, y en residencias en los que la estética no es uno de los puntos a tener más en cuenta.

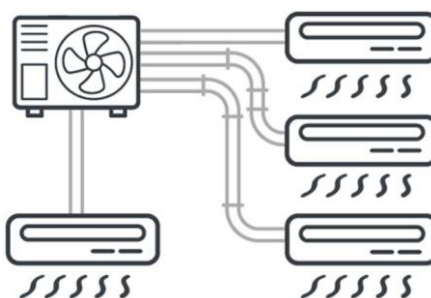


Ilustración 12. Sistema multisplit. (Fuente: OCU)

- **Aire acondicionado por conductos:** El funcionamiento y la mecánica es exactamente el mismo al de cualquier tipo de ciclo de refrigeración. Al igual que en la tecnología split, hay una unidad exterior, que hace las veces de condensador y compresor y una sola unidad interior que hace las veces de evaporador. Sin embargo, es este caso, en vez de contar con varios aparatos interiores y distribuirlos alrededor de las distintas salas del local, se cuenta con una única

unidad interior de gran tamaño, que se suele montar en el falso techo por cuestiones estéticas. A esta unidad interior que proporciona aire frío, se le conectan los conductos de aire encargados de llevar ese aire frío a cada habitación a través de las rejillas. En la Ilustración 13 se muestran todos los componentes de dicha instalación. La instalación requiere de una mayor inversión, aunque asegura una distribución equitativa del aire en toda la vivienda y una mayor eficiencia, con lo cual es ideal en residencias de mayor tamaño.

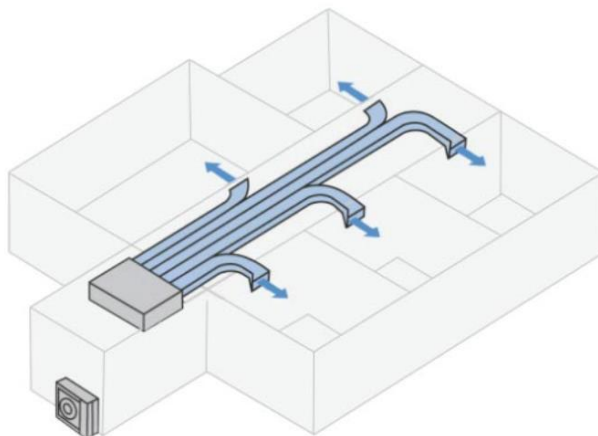


Ilustración 13. Aire acondicionado por conductos. (Fuente: OCU)

3.1.3. SISTEMAS FRÍO-CALOR

La tecnología frío-calor, tal y como se ha relatado en la introducción de este punto, son capaces de aportar calor invierno y frío en verano gracias a la utilización de las bombas de calor reversibles, que han supuesto una verdadera revolución en el mundo de la climatización. Por todo ello, las clasificaciones en cuanto a temperaturas del fluido, emisores, depósitos de inercia, etc., son exactamente las mismas que en los apartados anteriores según si los circuitos son de agua o aire, y según se está enfriando o calentando el ambiente.

Su funcionamiento se basa en un ciclo termodinámico idéntico al ciclo de refrigeración mostrado en la Ilustración 11. La diferencia fundamental es que, las bombas de calor reversible logran invertir el ciclo de refrigeración e intercambiar el evaporador y el condensador en los meses más fríos. Las diferencias de funcionamiento del ciclo se muestran en la Ilustración 14. Como se puede ver en dicha ilustración, en modo refrigeración, se comportan igual que un aire acondicionado convencional en el que el evaporador, que es la unidad interior, enfría absorbiendo el aire caliente de la sala. Ese aire caliente luego es desaprovechado y expulsado en el exterior por el condensador. En modo calefacción, sin embargo, el ciclo se revierte y el evaporador ahora es la unidad exterior cumpliendo la misma función que antes: extrae el calor o energía del ambiente para llevarlo al condensador. La diferencia es que, ese calor que cede el condensador, ahora sí que se aprovecha para calentar el circuito de calefacción.

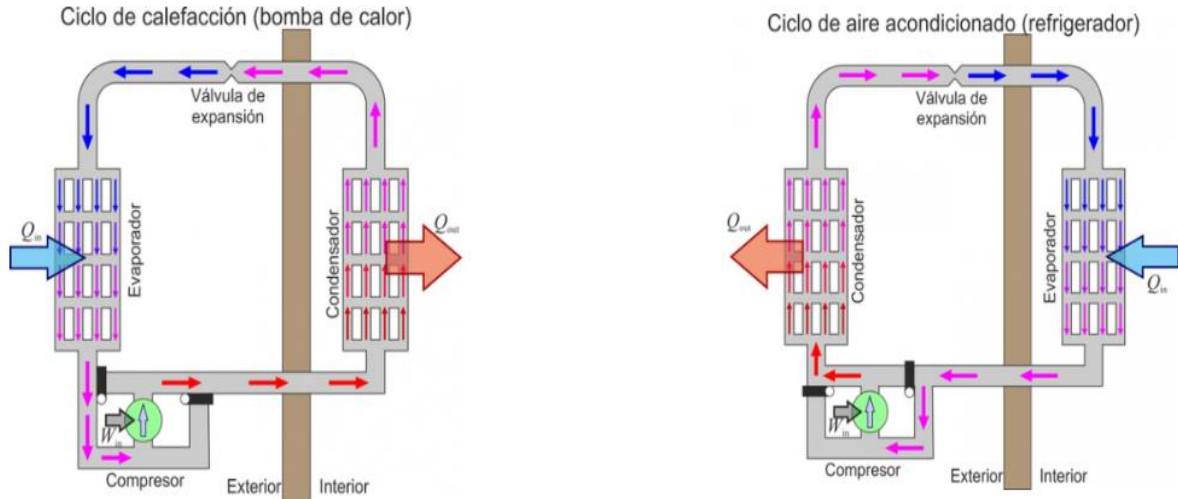


Ilustración 14. Bomba de calor reversible. (Fuente: Sánchez Inocencio, I.)

La clave de este ciclo reversible es que se logra utilizar el calor del ambiente como fuente de energía. Aunque parece que extraer calor del ambiente en invierno es imposible, con la utilización de refrigerantes capaces de trabajar a temperaturas muy bajas, sí que se consigue captar este tipo de energía. De este modo, se consiguen unos rendimientos mucho más altos, que hacen que las bombas de calor reversible sean consideradas fuentes de energía renovable cuando trabajan en modo calefacción y superan ciertos valores de rendimiento estacional determinados por la UE.

Para entender bien los valores de rendimiento que alcanzan, se puede utilizar el diagrama de Sankey sacado de la asignatura de ingeniería energética cursada en primero de máster de ICAI. En la Ilustración 15 se puede ver como utilizando únicamente 1 UD de energía primaria para el funcionamiento de la bomba (que suele ser eléctrica), se pueden aprovechar 1,18 UD de energía térmica gracias al calor captado de la naturaleza. Es decir, se pueden conseguir rendimientos mayores al 100%.

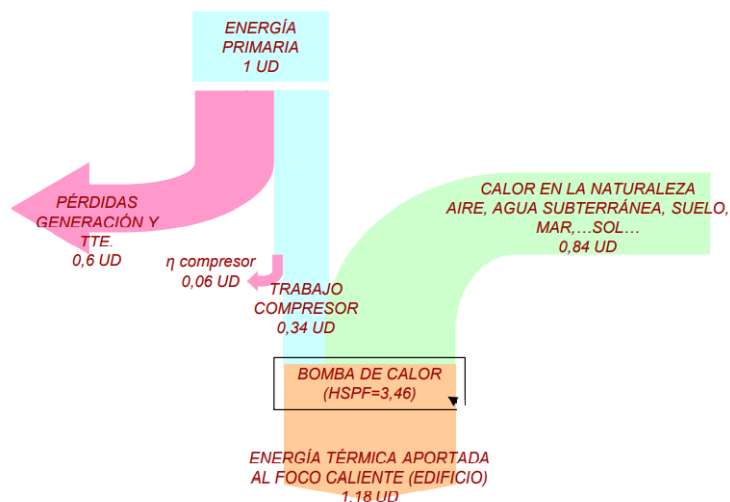


Ilustración 15. Diagrama de Sankey del funcionamiento de una bomba de calor reversible. (Fuente: Monasterio et al.)

La única desventaja que presentan los sistemas de climatización frío-calor es que requieren de una inversión inicial elevada en comparación con los sistemas de calefacción o refrigeración convencionales. Sin embargo, dados los rendimientos obtenidos, el coste de dicha inversión puede recuperarse en un ciclo de tiempo asequible. Además, dado que toda la energía que consumen es de tipo eléctrico, resulta muy interesante la opción de combinarlos con paneles fotovoltaicos que hagan que el coste de la climatización de convierta en nulo.

Una vez entendido el funcionamiento de las bombas de calor reversible, hace falta hacer una clasificación que permita entender qué opciones reales supone el hecho de instalar este sistema en el inmueble objeto de estudio. Para ello, se va a hacer un doble análisis de manera conjunta. El primer término hace referencia a la fuente de energía utilizada para aportar calor al refrigerante y el segundo término al tipo de fluido utilizado para el circuito de climatización, lo cual influirá en la decisión de los emisores más adecuados para estas situaciones.

- **Aire-aire (aeroterminia con circuito de aire):** La aeroterminia saca el calor del aire a temperatura ambiente y, en este caso, lo utiliza para calentar o enfriar un circuito de aire. Esta opción en verano es exactamente lo mismo que un aire acondicionado convencional. De hecho, los aires acondicionados normales hoy en día también utilizan bombas de calor para su funcionamiento, no obstante, estas no son siempre reversibles. Dado que el fluido utilizado para refrigerar o calefactar es el aire, los emisores más comunes en este caso son los de tipo split. La desventaja de esta configuración es que no puede ser empleada para calentar el ACS.
- **Aire-agua (aeroterminia con circuito de agua):** La manera de captar la energía es exactamente la misma que en el caso anterior, lo que pasa es que en este caso el calor o frío se transfiere a un circuito de agua que puede calefactar, refrigerar y ser utilizado para ACS. Estos circuitos de agua trabajan a temperaturas de agua más bajas que en los sistemas de calefacción convencional, lo que les permite aumentar sus rendimientos. La opción más común es la utilización de depósitos de inercia y de suelo radiante, dado que es capaz de trabajar muy bien tanto en invierno (aportando calor), como en verano (refrescando el ambiente). No obstante, también es muy común el uso de fancoils o de radiadores de baja temperatura.
- **Suelo-Agua (geoterminia con circuito de agua):** La tecnología y sus características son prácticamente iguales a la aeroterminia, solo que en este caso la bomba extrae el calor del subsuelo. Los rendimientos que alcanza son los mayores de todos. No obstante, su instalación es más cara que la aeroterminia y necesita de gran espacio para las perforaciones. La geoterminia solo se utiliza con circuitos de agua, tanto a altas temperaturas, como a bajas temperaturas.
- **Agua-agua/Agua-aire:** Este tipo de bombas captan la energía térmica del agua de un pozo, por ello son llamadas fuentes hidrotérmicas. Combinan tanto con instalaciones de aire, como de agua, pero son mucho más comunes en instalaciones industriales que en edificación civil.

3.2. ELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS

Con lo visto hasta este punto, parece que, si el objetivo es incorporar aire acondicionado en la vivienda, a priori la mejor opción sería incorporar una nueva instalación de climatización frío-calor que permita generar calor durante el invierno y frío durante el verano, ya sea por aire o por agua. Además, vistos los rendimientos energéticos alcanzados parece que no hay duda a la hora de tomar la decisión. De hecho, con las modificaciones del RITE y del CTE que tienen por objetivo llegar a la descarbonización en 2030, se obliga al menos, a estudiar la posibilidad de eliminar calderas y sustituirlos por equipos de bombas de calor siempre que sea viable técnica, funcional y económicamente, lo cual, en este caso, no está tan claro por dos razones principalmente.

La primera de las razones es el mero hecho de que no se trata de una nueva instalación. El inmueble estudiado en este caso ya cuenta con una instalación de calefacción perfectamente capaz de funcionar con unos pocos cambios. Es cierto que la razón de ser de este proyecto era la necesidad de realizar cambios en la climatización de la vivienda que permitieran un mayor confort, así como un ahorro económico. No obstante, esos cambios tan necesarios ya fueron pensados y estudiados profundamente durante el TFG, determinando que, con la inclusión de aislamientos, nuevos radiadores y una bomba de alta eficiencia, la instalación quedaba a la orden del día y el problema, solucionado.

El segundo punto – relacionado con el primero – es el hecho de que la teoría no siempre va de mano con la práctica. Es decir, sobre el papel la instalación de climatización por bomba de calor suena mucho más económica y eficiente, pero para estar seguros sobre ello hay que realizar los cálculos correspondientes de inversión y ahorro energético que prueben dicha hipótesis. Al no ser una instalación de nueva construcción, es posible que, el poder aprovechar la tecnología existente suponga unos costes del ciclo de vida total más bajo en su totalidad.

Por tanto, el objetivo de este capítulo será estudiar la viabilidad de introducir la tecnología frío-calor en el ámbito de la climatización. No obstante, a fin de poder comparar si esta nueva opción resulta viable, también será necesario diseñar escenarios que supongan un diseño de calefacción y refrigeración convencional por separado. En resumen, en este punto se pretenden analizar todas las opciones que podrían suponer un ahorro económico, un aumento de la eficiencia energética y un mayor alineamiento con el medioambiente y los objetivos de desarrollo sostenible.

De este modo, tras una primera discusión, si lo que se busca es hacer un análisis exhaustivo de todas las posibilidades que puedan parecer viables a primera vista, lo que se va a hacer es analizar las formas viables de calefactar y de refrigerar la vivienda. Según el tipo de tecnología elegida, los circuitos, tanto de refrigeración, como de calefacción, podrán tener diferentes configuraciones que se ajusten más a cada fuente de energía. Es por ello, por lo que también habrá que analizar las alternativas en materia de circuitos. Finalmente, se realizará un resumen de todas las posibles combinaciones existentes que resultarían en una climatización completa de la vivienda.

3.2.1. ALTERNATIVAS PARA CALENTAR LA VIVIENDA. LA FUENTE DE ENERGÍA DE LA INSTALACIÓN CALEFACCIÓN Y ACS

Uno de los pocos puntos de la instalación que no se analizó a fondo durante el TFG fue la caldera existente. Es cierto que el hecho de no decidir cambiar una caldera de gas natural que contaba con 20 años de vida útil podría parecer una decisión algo controvertida. No obstante, teniendo en cuenta la calidad de la máquina y los cambios recientes que se le habían hecho, se consideró que la caldera iba a ser capaz de mantener sus rendimientos y su funcionamiento en los años venideros. No obstante, en este punto del tiempo, con los precios del gas tal y como están, y teniendo el conocimiento de otras fuentes de energía mucho más eficientes, es el momento de plantear un cambio.

En primer lugar, hay que señalar que, visto el análisis realizado en la introducción, ni el gasoil, ni el propano, ni el butano, ni las soluciones eléctricas, suponen una alternativa asequible al gas natural. No obstante, podría ser lícito plantearse si seguir apostando por el gas natural o dar el salto a una energía más limpia. Al fin y al cabo, hoy en día existen las llamadas calderas de condensación, que son calderas de gas con unos altísimos rendimientos gracias al aprovechamiento del calor latente de condensación en los humos de combustión. De hecho, en muchas comunidades autónomas existe el llamado ‘Plan Renove de Calderas’, que proporciona ayudas económicas públicas a todos aquellos que quieran cambiar su caldera de gas natural, por una de condensación, que tiene una mayor eficiencia y es menos contaminante.

Sin embargo, en la Comunidad de Madrid esa ayuda ya no existe como tal. En la Comunidad de Madrid solo existe el ‘Plan de Ayudas Cambia 360’, que lo que pretenden es cambiar las calderas de gas por otro tipo de equipos que eviten el transporte de combustibles en entorno urbano, es decir, las bombas de calor. Por tanto, tal y como se adelantaba en capítulos anteriores, si sumamos este hecho, a que el gas no deja de ser un combustible fósil y que se encuentra en una posición geopolítica muy delicada, queda claro que la renovación necesaria no puede seguir dependiendo del gas natural. Con este hecho en mente, realmente solo habría lugar para dos opciones en la vivienda.

- **Opción I: Caldera de Biomasa:** La primera de las opciones consistiría en seguir apostando por un sistema de calefacción convencional con caldera. Aunque en la Comunidad de Madrid no existe el ‘Plan Renove de Calderas’, lo que sí existe es el ‘Plan de ayudas a las actuaciones de rehabilitación energética de edificios residenciales y viviendas’, que financia actuaciones que rebajen en un 30% la energía no renovable. Por tanto, otra opción razonable es la de poner biomasa, que es un combustible completamente renovable. Lo único que habría que hacer sería diseñar una caldera de biomasa que pudiera aportar la misma potencia que la actual caldera de gas. Únicamente habrá que tener cuidado con utilizar la biomasa también para el ACS durante el verano, pues la biomasa, al trabajar a baja carga puede generar ineficiencias grandes. No obstante, todo esto será objeto de estudio.
- **Opción II y III: Aerotermia y Geotermia:** La segunda opción supondría dejar de lado los sistemas de calefacción convencional y apostar por los sistemas frío-calor (tanto por aire, como por agua). Esto no quiere decir que haya que hacer grandes cambios en la instalación, al contrario, pues también se pueden combinar con circuitos de agua a temperaturas más bajas. Se va a estudiar por separado la posibilidad de instalar aerotermia y la de instalar geotermia. Dentro de la opción de aerotermia, se plantearán tanto circuitos de aire, como de agua.

3.2.2. ALTERNATIVAS PARA ENFRIAR LA VIVIENDA. LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN

Dado que no existe una instalación de refrigeración previa en la vivienda, cualquiera de las opciones comentadas en el análisis realizado sobre la refrigeración podría resultar viable. No obstante, de nuevo se trata de pensar en un largo plazo que implique pensar en que la utilización de la vivienda no va a ser igual que la actual. Por tanto, inicialmente se descartan todos los métodos de refrigeración sencillos, como ventiladores o aires portátiles. Aunque dada la utilización de la vivienda en verano, estos métodos sencillos podrían ser una opción económica y rápida en el corto plazo, la compra de estos no resolvería realmente el hecho de no tener una casa acondicionada.

Siguiendo con esta idea, la tecnología multisplit presenta el mismo inconveniente. Al fin y al cabo, se trata de una vivienda de 500 m² aprovechables y más de 20 habitaciones. Aunque con la utilización real actual de la vivienda bastaría con poner un sistema multisplit capaz de refrescar las seis o siete salas con mayor utilización de la vivienda, ésta no sería una solución viable a largo plazo. Por tanto, las dos opciones más viables son las siguientes

- **Opción I: Refrigeración aire-aire (aeroterminia) por conductos.** Aunque el inmueble no cuenta con la instalación de conductos y habría que llevar a cabo una obra bastante considerable, esto no supone ningún problema, dado que igualmente se va a tener que reformar el circuito de climatización. La idea sería poner una bomba de calor aire-aire reversible capaz de aportar frío en verano y algo de calor en invierno si fuera necesario. La realidad es que la opción de poner un circuito de refrigeración convencional no tiene mucho sentido en sí, dado que, ya que se pone una bomba de calor, merece la pena que esta sea reversible.
- **Opción II y III: Aeroterminia y Geoterminia con circuitos de agua:** La segunda opción en cuestión de refrigeración vendría de la mano de la decisión tomada para el sistema de calefacción. En caso de instalar aeroterminia o geoterminia con suelo radiante en la vivienda, la refrigeración en verano ya quedaría resuelta.

3.2.3. ALTERNATIVAS PARA LOS CIRCUITOS DE AGUA

Como ya se ha introducido previamente, en función el tipo de tecnología elegida, los circuitos, tanto de refrigeración, como de calefacción, podrán tener diferentes configuraciones que se ajusten más a cada fuente de energía. Según lo visto hasta el momento, solo habría un único escenario en el que la forma de calefactar (y refrigerar) no se haría por circuitos de agua, que es con la bomba de calor aire-aire. Para los circuitos de aire no hace falta realizar ningún análisis de alternativas pues, como ya se ha dicho anteriormente, el circuito se realizará por conductos. Por ello, lo que interesa en este apartado son las diferentes alternativas que surgen en los circuitos de agua. De hecho, incluso para el escenario, será necesario un circuito de agua, pues en este caso habría que tener un circuito de agua caliente para el ACS. Por tanto, incluso en el caso de ese escenario, se debería dejar una caldera convencional para que pueda seguir trabajando en los momentos de necesidad (ya sea dejando la actual de gas natural, o poniendo una más pequeña de biomasa en su lugar).

El desarrollo del TFG se basó en gran medida, en el estudio y recambio del circuito de calefacción propiamente dicho. Es decir, todos los componentes de la instalación de calefacción fueron estudiados y evaluados al detalle, de manera que se propusieron todos los reemplazos que se consideraron necesarios o económicamente viables desde un punto de vista práctico. Vistos los resultados y las conclusiones que los refrendan en el capítulo 2 de este trabajo, parecería que no hace mucha falta ahondar más en este tema. No obstante, lo visto en materia de instalaciones frío-calor – donde ahora los circuitos de agua también necesitan refrigerar – y el carácter largoplacista de este proyecto hacen que se puedan contemplar diferentes alternativas dentro de los circuitos de agua planteados:

- **Suelo radiante o radiadores:** Según lo visto hasta el momento, parece claro que, si se cambia la caldera por la bomba de calor reversible, es mucho más interesante el hecho de incluir suelo radiante, dado que este es más capaz de refrescar el ambiente en la temporada de verano. Por tanto, en función de la fuente de calor y de frío de cada escenario, algunos escenarios supondrán instalar los mismos radiadores que fueron diseñados para el TFG, y los otros implicarán realizar un cambio en la instalación y plantearse el hecho de incluir suelo radiante. Dentro del escenario de los radiadores, se puede incluso plantear la opción de sustituir alguno de estos por fancoils, a fin de refrescar mejor el ambiente en verano.
- **Instalaciones instantáneas o con depósitos de inercia:** En función de la fuente de calefacción elegida será más recomendable utilizar los depósitos de inercia. Por ejemplo, en el escenario con aerotermia, el depósito de inercia será prácticamente obligatorio, mientras que, para el caso de la biomasa, esto será un punto de discusión bastante importante.
- **Posibilidad de cambios adicionales.** En función de la tipología de cada escenario, será más recomendable el hecho de añadir, cambiar o reevaluar ciertos componentes de la instalación.
 - **Cambio de las tuberías:** Este punto guarda una gran relación con el punto de los emisores. Al fin y al cabo, otra de las razones por la que el hecho de poner suelo radiante puede ser interesante es por el hecho de que, si lo que se pretende es crear una instalación en el largo plazo, sería muy recomendable el hecho de plantearse cambiar toda la red de tuberías de cobre. Este es uno de los puntos que quedó pendiente en el TFG, dado que se consideró que con la inclusión de bombas de impulsión el problema de las tuberías anticuadas quedaba resuelto. Es por esta razón por la que en todos los escenarios habrá que plantearse este hecho.
 - **Bombas de impulsión:** Cada escenario y cada propuesta incluirá sus propios componentes en la instalación. Es por esta razón por la que en cada uno de ellos se tendrá que valorar si mantener los cambios en materia de bombas hidráulicas pensados durante el TFG, o será mejor elegir nuevos aparatos que se adapten de una manera mejor a las nuevas instalaciones.

3.2.4. RESUMEN DE LOS ESCENARIOS

Una vez se tienen todas las diferentes alternativas, es momentos de unir las todas en escenarios concretos. En definitiva, se ha dicho que como fuente de combustible para la calefacción se pueden utilizar la biomasa o las bombas de calor, que la refrigeración podría ser o bien por aire, o bien por agua, pero ambos contando con bombas de calor reversible y, por último, que en el circuito de agua hay diferentes configuraciones posibles. Ahora, es necesario combinar todas esas alternativas en escenarios que puedan llegar a tener sentido económico. El resumen de los escenarios se muestra en la Tabla 9.

1. **Aerothermia con circuito de agua.** Este escenario incluye como fuente de energía para calefactar y refrigerar bombas de calor reversible de aire-agua, cuya fuente de energía es el aire y cuyo circuito es de agua. En estos casos, en los que lo más recomendable es trabajar a temperaturas bajas del agua, lo mejor es poner suelo radiante y depósitos de inercia en la instalación.
2. **Caldera de biomasa + aerothermia con circuito de aire.** Esta opción supone poner una bomba de calor reversible de aire, cuyo circuito también sea de aire y por conductos. Este circuito de aire servirá sobre todo para refrigerar, aunque también será utilizado para calefactar en los meses no muy fríos. Dado que, con la opción del aire el ACS no está cubierta y en los meses más fríos el confort no es el suficiente, es necesario una fuente de calor convencional. En este caso, lo más indicado será reemplazar la actual caldera de gas por una de biomasa y que el circuito sea de radiadores.
3. **Geothermia con circuito de agua.** Esta última opción puede ramificarse en dos subopciones, dado que la geothermia es capaz de trabajar, tanto a altas, como a bajas temperaturas del agua. Es por ello, que se puede poner, o bien suelo radiante si se trabaja a baja temperatura, o bien radiadores acompañados de fancoils (para refrigerar), si se trabaja a alta temperatura.

Tabla 9. Resumen de los escenarios para la climatización. (Fuente: Elaboración propia)

Escenario	Calefacción		Refrigeración	
	Fuente	Emisores	Fuente	Emisores
1	Aerothermia	Suelo Radiante	Aerothermia	Suelo Radiante
2	Biomasa (Aerothermia)	Radiadores (Conductos)	Aerothermia	Conductos
3	Geothermia	Suelo Radiante / Radiadores	Geothermia	Suelo Radiante / Radiadores / Fancoils

Todos los escenarios incluirán el análisis de si es necesario realizar el cambio integral de las tuberías actuales de cobre, de si tendrá sentido incluir depósito de inercia o cambiar el interacumulador de ACS, y de si tiene sentido incluir las mejoras en materia de bombas hidráulicas, tanto para el circuito de calefacción, como para el de ACS. Además, en el Capítulo 5, todos los escenarios serán unidos con las mejoras pensadas en materia fotovoltaica del próximo capítulo y con las medidas pensadas en cuanto a aislamientos.

3.3. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ESCENARIOS

Este apartado va a consistir en el diseño y dimensionamiento de cada uno de los escenarios comentados anteriormente. Para cada una de las opciones dentro de los escenarios, en primer lugar, se ahondará en las tendencias, ventajas e inconvenientes que supone la elección de dicha tecnología, posteriormente se elegirán los modelos y diseños más viables y, por último, se dimensionarán sus características en caso de que sea necesario. A efectos de diseño y dimensionamiento, se dimensionará para el caso más crítico, es decir, teniendo en cuenta que hubiese abastecer a todas las habitaciones de la vivienda al mismo tiempo. Esto, en realidad es muy improbable que se llegue a conseguir, por lo que habrá un pequeño factor de minoración a la hora de elegir los equipos. Además, antes de empezar, es necesario definir los coeficientes de rendimiento y eficiencia energética, los cuales son uno de los aspectos más clave en el ámbito del diseño y elección de los equipos de climatización, pues muchas decisiones serán guiadas por el valor de estos coeficientes. Según la norma UNE, se definen dos tipos de coeficientes:

- **Coefficientes instantáneos (COP y EER):** El COP (Coefficient of Performance) se define como el ratio entre potencia calorífica y potencia útil absorbida por el equipo, mientras que el EER (Energy Efficiency Ratio) se define como el cociente entre potencia frigorífica y la potencia útil. Estos son cocientes entre potencias instantáneas y, aunque son más fáciles de calcular, han dejado de tener relevancia.
- **Coefficientes estacionales (SCOP y SEER):** Lo realmente interesante es conocer el comportamiento energético de los equipos en el tiempo. Es por ello por lo que el SCOP y el SEER son coeficientes estacionales que representan el cociente de la demanda anual (de calefacción y refrigeración respectivamente) entre el consumo energético anual (destinado a calefacción y refrigeración respectivamente).

Por último, se comentará el modo de funcionamiento de la instalación y el presupuesto real que supondría la instalación de dicho escenario. En los casos en los que aparezcan elementos comunes en diferentes escenarios simplemente se aprovechará el trabajo ya realizado. Todo este proceso se resume de manera efectiva en la Ilustración 16.

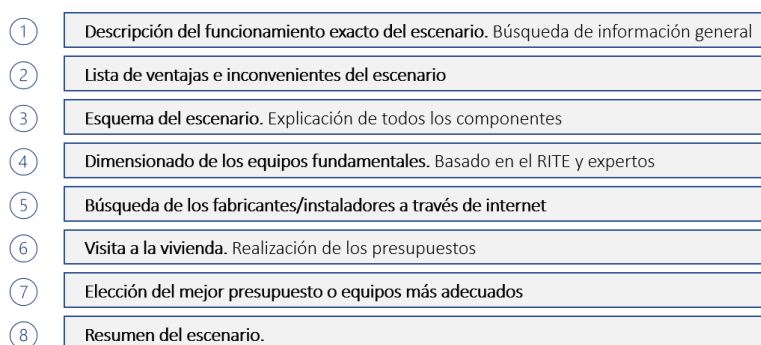


Ilustración 16. Esquema de dimensionamiento de los escenarios. (Fuente: Elaboración propia)

3.3.1. ESCENARIO I: AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE

Este primer escenario consiste en la remodelación completa de la instalación de agua caliente de la vivienda. Dado que la instalación actual – que cuenta con la caldera de gas, tuberías de cobre y radiadores de hierro fundido –, está preparada para trabajar a altas temperaturas del agua y tiene un grado de obsolescencia bastante avanzado, en un escenario completamente diferente en el que la fuente de energía será la aerotermia, mucho mejor preparada para las bajas temperaturas y el suelo radiante, tiene todo el sentido del mundo remodelar desde cero la instalación de agua caliente, o al menos el circuito de calefacción.

De este modo, en primer lugar, se ahondará un poco en la definición de aerotermia y sus configuraciones más adecuadas para viviendas unifamiliares. De este modo, se demostrará que la instalación más rentable y lógica incluirá, tanto suelo radiante, como depósito de inercia. Posteriormente, se comentarán las principales ventajas y desventajas de la tecnología en general, y de la configuración elegida en concreto. Por último, se dimensionará la instalación y se elegirá la propuesta presupuestaria de más interés.

3.3.1.1. Introducción, definición y componentes

Tal y como se ha comentado en la introducción de este capítulo, la aerotermia es la energía que utiliza la energía del aire para climatizar los espacios. La forma de funcionar exacta se explicaba exactamente en el apartado 3.1.3. Se trata de un ciclo de Rankine inverso con refrigerante, que a la vez es capaz de invertir las funciones del evaporador y del condensador, pudiendo, de esta manera, generar calor en invierno y frío en verano. Por lo tanto, el gasto en gas natural queda completamente eliminado, sustituyéndolo por un gasto en electricidad que permite funcionar a la bomba calor. No obstante, los rendimientos alcanzados son muy altos, permitiendo generar un ahorro bastante considerable en energía. Este hecho se muestra en la Ilustración 17. En dicha ilustración se muestra una bomba de aire genérica que luego abastece a una vivienda. En el caso concreto de este escenario, la forma de abastecer a la vivienda es mediante un circuito de agua. Por ello, se le llama bomba de calor aire-agua.



Ilustración 17. Funcionamiento de una bomba de Calor. (Fuente: Grupo Visiona)

Aunque es muy común el hecho de querer apostar por instalaciones en las que simplemente se cambie la bomba de calor por la caldera existente en la vivienda, de forma que no haya que realizar una gran obra, esta opción no es la más recomendable por dos motivos principalmente. El primero de ellos es el hecho que las instalaciones antiguas de radiadores, como es el caso del inmueble objeto de estudio, no están preparadas para poder refrigerar en verano. Aunque sí que aportarían algo de frío, es mucho mejor la opción del suelo radiante a la hora de refrigerar. El segundo de los motivos es hecho de que los circuitos de agua que abastecen las bombas de calor de aire trabajan mucho mejor a temperaturas bajas del agua que a temperaturas altas del agua. Esto se aprecia de manera muy clara en la Ilustración 18. Como se puede ver en dicha ilustración el COP de la instalación aumenta notablemente trabajando a bajas temperaturas del agua. Esto, a largo plazo, supone un ahorro de energía bastante grande, por lo que merece la pena realizar un cambio integral en la instalación si este es el escenario.

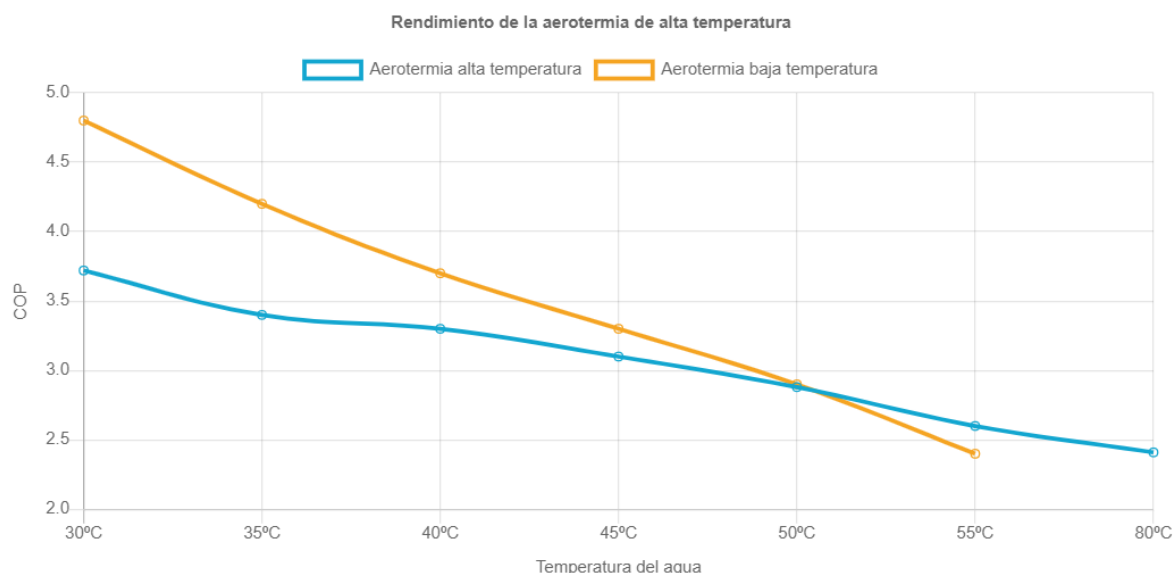


Ilustración 18. Rendimiento de la aerotermia (COP) a diferentes temperaturas del agua.
(Fuente: Martínez, O. vía preciogas)

El único problema de trabajar a temperaturas bajas del agua es el hecho de que esto es una opción mucho más recomendable para climas no demasiado fríos. No obstante, aunque en los meses más fríos los rendimientos descieran un poco, el clima de Madrid se adecúa de sobra a las características de la aerotermia. De esta manera, aunque se van a poder aprovechar ciertas características de la instalación de agua caliente (como, por ejemplo, parte de la instalación de ACS), la idea es realizar un cambio integral en la que se reemplacen todas las tuberías, radiadores y bombas, este cambio sea realizado por una única empresa instaladora dentro de un único presupuesto. Es esquema resultante de la instalación a diseñar se muestra en la Ilustración 19.

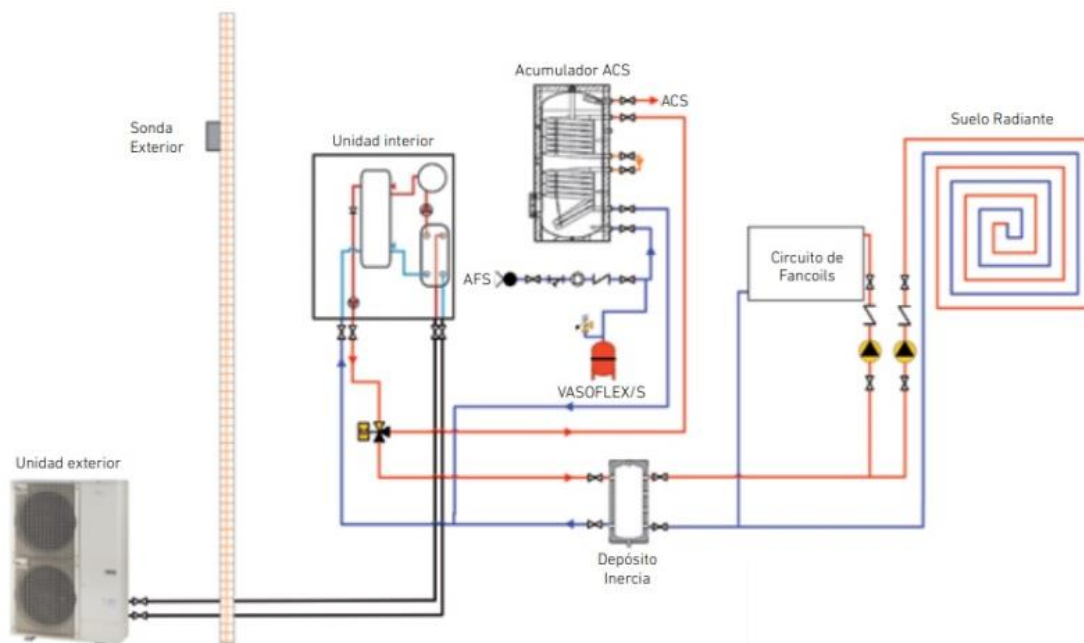


Ilustración 19. Esquema de la instalación de aerotermia. (Fuente: Martínez O. vía preciogas)

Realmente, el esquema mostrado es muy parecido a un esquema de calefacción típico y al existente en la vivienda, con la salvedad de que la caldera se cambia por una bomba compuesta por dos partes (una interior y otra exterior), la temperatura del agua es más baja, los elementos terminales son diferentes y se incluye un depósito de inercia. Los componentes que aparecen en dicha ilustración y que habrá que diseñar para la instalación se explican a continuación.

- Bomba de calor:** Es la encargada de extraer la energía del aire convirtiéndola en frío o en calor. Como se ha venido comentando, en este caso se trata de una bomba de calor aire-agua, pues esa energía se transmite al circuito de agua. La bomba consta de dos unidades diferentes, las cuales se muestran en la Ilustración 20, y se explican a continuación.



Ilustración 20. Unidades de una bomba de calor aire-agua. (Fuente: Expertclima)

- **Unidad exterior:** Su parte más importante es el intercambiador de aletas. En modo refrigeración, se comporta igual que un aire acondicionado convencional, en la que funciona como condensador, expulsando el aire caliente al exterior, sin aprovecharlo. En modo calefacción, sin embargo, el ciclo se revierte y ahora se comporta como evaporador, extrae el calor o energía del ambiente para llevarlo hacia la unidad interior y ser aprovechado. La unidad exterior también incluye el compresor con tecnología inverter, válvulas de expansión, válvulas de 4 vías que revierten el ciclo y el intercambiador de refrigerante.
- **Unidad interior:** En modo refrigeración, se comporta como evaporador, es decir, enfría el circuito de agua absorbiendo el aire caliente de la sala, mientras que en modo calefacción, se comporta como condensador, calentando el circuito de agua. Básicamente distribuye el frío o el calor en la vivienda a partir de un módulo hidráulico que integra refrigeración, calefacción y ACS, gracias a una válvula de 3 vías.
- **Circuito de calefacción/refrigeración:** El primero de los circuitos que integra la instalación es el de calefacción (o refrigeración, según la época del año). Dicho circuito aparece en la parte inferior de la Ilustración 19. Este circuito es el que va a reemplazar al sistema de calefacción existente en la vivienda. Sus principales componentes se explican a continuación.
 - **Emisores (suelo radiante):** Todo el circuito de tuberías que transportan el agua (junto con válvulas, bombas, etc.) acaba desembocando en los emisores del calor o frío, según el caso. En la Ilustración 19 aparece un circuito de fancoils y uno de suelo radiante. Sin embargo, para el propósito de este proyecto, solo se va a requerir de suelo radiante, que es la solución perfecta para distribuir equitativamente desde el suelo, tanto el calor, como el frío. Las características de este tipo de emisor se explicaban en el apartado 3.1.1.3 y son especialmente indicados para trabajar a bajas temperaturas del agua en invierno (35 – 50 °C).
 - **Depósito de Inercia:** Este solo es necesario en los meses fríos, cuando la instalación trabaja en modo calefacción. Aunque con otras fuentes de energía pueden no estar presentes en la instalación (como con calderas de gas), su presencia es imprescindible para circuitos de aerotermia aire-agua. Muchos fabricantes integran el depósito directamente en la bomba de calor, aunque está la opción de funcionar por separado. Este depósito guarda el agua a unos 45 °C en su parte de arriba, para utilizarse en el momento que se requiera. Finalmente, el agua vuelve a la parte de abajo del depósito con unos grados menos.
- **Circuito ACS:** Una de las principales ventajas de las bombas de calor aire-agua con respecto a las bombas aire-aire, es el hecho de incorporar también el circuito de agua caliente sanitaria, que debe estar claramente separado del de calefacción.

A diferencia de otras configuraciones (como la actual, con caldera de gas), en este caso es imprescindible que el depósito de inercia utilizado para calefactar sea independiente del acumulador de agua caliente sanitaria. Esto es así porque durante el verano, la bomba habrá momentos que tendrá que trabajar en modo calefacción para entregar calor al circuito de ACS, mientras que habrá otros (que será la mayoría del tiempo), que trabajará en modo refrigeración para el circuito de suelo radiante. Lo normal es que el circuito de agua caliente sanitaria de la vivienda se deje tal y como está (con las tuberías, la bomba de circulación elegida durante el TFG y la bomba de recirculación existente) exceptuando el acumulador.

- **Acumulador ACS:** Aunque el circuito actual de ACS consta con un acumulador de ACS, este ya se encuentra en condiciones de ser cambiado. El agua del acumulador proviene de la unidad interior de la bomba, gracias a la válvula de 3 vías instalada en su salida. El acumulador dispone de un serpentín que mantiene el agua caliente en su interior.
- **Otros:** Tal y como se aprecia en la Ilustración 19, el sistema requiere también de otros accesorios para su correcto funcionamiento. La mayoría de estos accesorios no requieren de demasiado dimensionado y su diseño corre más bien a cargo de las empresas instaladoras. Estos accesorios se explican a continuación.
 - **Bombas hidráulicas:** Encargadas de abastecer y hacer llegar el agua a los emisores finales. Habrá una en el circuito de calefacción que será diseñada por la empresa instaladora en función de los metros y tipo de tubería, y otras dos en el circuito de ACS. Dado que este no será cambiado, se utilizará la bomba circuladora Grundfos CME 1-2A propuesta en el TFG y la bomba de recirculación existente Grundfos Comfort, cuyas características se muestran en el apartado 8.2.2.1 del Anexo.
 - **Instalación hidráulica.** Todo el entramado de tuberías requerido para la instalación de calefacción y para la de ACS. El de calefacción será reemplazado, mientras que el de ACS se mantendrá tal y como está.
 - **Control de la instalación.** Instalación de termostatos que accionen automáticamente tanto la refrigeración, como la calefacción.
 - **Instalación Eléctrica.** La bomba de calor, los depósitos, termostatos, bombas hidráulicas y demás componentes se deben conectar a la red para poder funcionar correctamente.
 - **Otros materiales.** Por último, una instalación como esta requiere de la utilización y elección de una gran cantidad de materiales en cuestión de aislamientos, tarimas para el suelo, mallas...

Conocida la configuración típica de una instalación de aerotermia con agua, ya se está en disposición de conocer las ventajas e inconvenientes que este escenario supone.

3.3.1.2. Resumen de las ventajas e inconvenientes de la aerotermia con circuito de agua

Todo lo explicado hasta el momento puede inducir a pensar que la aerotermia juntada con suelo radiante es un escenario ideal. Es cierto que durante el desarrollo de este trabajo se han ido comentando todas las grandes ventajas que tiene un escenario como este. Es por esta misma razón por la que, sin duda, se trata de un escenario que merece la pena estudiar más a fondo. Aun así, también consta de inconvenientes y debilidades que deben ser resaltados con el fin de poder comparar unos escenarios con respecto a otros en el capítulo final de este proyecto. Por ello, en primer lugar, se enumerarán dichos inconvenientes y, posteriormente, se realizará un resumen de todas las ventajas que tiene la aerotermia con suelo radiante (Rodríguez, 2019 y Martínez González, 2023).

3.3.1.2.1. *Inconvenientes más resaltables del Escenario I*

- **Elevada inversión inicial:** Aunque la instalación de la aerotermia es más barata que la geotermia, aun así, hay que hacer frente a costes de inversión más elevados que si se tratara de un sistema de calefacción convencional. Además, el hecho de incluir el suelo radiante en la ecuación, para lo cual habría que levantar el suelo de toda la vivienda, sube todavía más el precio. Sin embargo, los altos rendimientos de esta tecnología y las subvenciones existentes hacen que se produzca una rápida amortización de la inversión.
- **Mayor consumo de electricidad:** El combustible utilizado en las bombas de calor es la electricidad, que es la fuente de energía más costosa que existe. Por ello, instalar aerotermia, generalmente supone aumentar la potencia contratada en el suministro eléctrico. No obstante, si se instalan paneles solares fotovoltaicos en la vivienda, el hecho de utilizar electricidad se convertiría en una ventaja.
- **Instalación compleja en viviendas ya construidas:** El hecho de tener que sustituir el sistema de calefacción al completo y tener que levantar el suelo de todo el inmueble para instalar el suelo radiante implica un proceso de obras largo, laborioso y caro. Esta probablemente sea el mayor contra de todo este escenario.
- **No recomendable para zonas climáticas frías:** Si bien las instalaciones de aerotermia se caracterizan por tener altos rendimientos, estos decrecen de manera considerable cuando las zonas climáticas son frías. Por ello, aunque Madrid no es una zona climática fría en sí, durante los meses más fríos del invierno hay que considerar el hecho de que la bomba aerotérmica estará consumiendo mucha electricidad y a un rendimiento mucho menor. Es por esta razón por la que la aerotermia trabaja mucho mejor a temperaturas bajas del agua.
- **Ausencia de potencia de reserva en la bomba de calor:** A diferencia de las calderas, las bombas de calor no tienen una potencia de reserva que aportar cuando el clima es más frío. Por esta razón, hace falta ser más fino con los cálculos, de manera que el confort sea el adecuado.

- **Lentitud en la inercia del suelo radiante:** La inercia que poseen las instalaciones de suelo radiante es bastante lenta, pues tarda bastante en calentar o enfriar el sistema entero desde que se enciende la bomba en este caso. Sin embargo, esto se convierte en una ventaja para cuando se apaga el sistema, pues el calor y el frío se retienen durante períodos más largos.
- **Estética:** Aunque en menor medida, la estética es un inconveniente en los sistemas aerotérmicos, ya que los equipos exteriores son difíciles de integrar arquitectónicamente en las casas en las que prima el aspecto desde fuera. No obstante, este inconveniente lo es cada vez menos gracias a diseños modernos, elegantes y poco ruidosos de las bombas. Además, el suelo radiante sí que supone una mejoría estética dentro de la vivienda, así como un aumento de espacio.

3.3.1.2.2. *Ventajas más resaltables del Escenario I*

- **Solución renovable y limpia:** Sus emisiones de CO₂ se consideran prácticamente nulas, dado que el ciclo que sigue el fluido refrigerante dentro del circuito de aerotermia es completamente estanco. Esto, sumado a sus elevados rendimientos y a la ausencia de gases de combustión lo convierten en una de las soluciones más limpias del mercado.
- **Solución consolidada en el mercado:** Según el informe publicado en el año 2019 por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), el aumento en bombas de calor aire/aire desde año 2014 hasta 2019 fue de más de 2 millones plantas instaladas en todo España, siendo el sector que más está creciendo el sector residencial, con un total 3 millones de bombas aerotérmicas instaladas. Este dato supone que, en el año 2019, un 15% de las viviendas españolas ya contaban con aerotermia en sus viviendas, lo que demuestra su grado de consolidación, a pesar de ser una solución renovable.
- **Elevados rendimientos:** Los rendimientos de las bombas aerotérmicas trabajando en condiciones óptimas pueden alcanzar valores cercanos o incluso superiores a 500%. Aunque en condiciones no tan buenas, estos rendimientos bajan, los valores siguen siendo muy altos. Además, si se junta con instalaciones de suelo radiante trabajando a bajas temperaturas, como es el caso objeto de estudio, su eficiencia se magnifica.
- **Bajo consumo y ahorro:** Aunque necesitan más electricidad que las calderas para funcionar, la realidad es que la mayor parte de la energía que se utiliza en las bombas de calor se extrae del aire, que es gratis. Además, ese extra de consumo en electricidad puede ser suplido por una instalación fotovoltaica que genere ese extra de electricidad. Y si a todo ello se le suma que la instalación en la que se va a inscribir la bomba de calor será una instalación de baja temperatura, el ahorro conseguido es máximo.

- **Subvenciones y amortizaciones rápidas:** Al considerarse una energía natural e inagotable, compatible con las soluciones renovables, el estado aporta ayudas en concepto de subvenciones para cambiar las antiguas calderas de gas, por soluciones que incluyan bombas de calor. Estas subvenciones, sumados al bajo consumo y los elevados rendimientos que hacen rebajar los gastos energéticos, suponen que las inversiones iniciales no tarden demasiado en recuperarse.
- **Integración de calefacción, ACS y refrigeración en uno solo:** La principal ventaja de los sistemas frío-calor es el hecho de que aportan calor en invierno y frío en verano. En este sentido, el suelo radiante es el mejor aliado para cumplir con ambas funciones. Pero en este escenario en concreto, en el que la aerotermia se junta con agua, también es posible integrar el ACS en la ecuación. Esto hace que, aunque sea una inversión elevada, se está solucionando la climatización entera y al completo de la vivienda.
- **Poco espacio y fácil instalación de la bomba de calor:** La instalación de la bomba de calor en sí no presenta ninguna dificultad, pues no requiere de evacuación de humos ni nada parecido. Además, ocupa tan poco espacio en comparación con la caldera, que muchas veces no requiere ni de un cuarto específico para su localización. El ahorro del espacio también aplica al suelo radiante, que supone un ahorro importante y una mejora de la estética importante frente a los radiadores.

3.3.1.3. Diseño del escenario

Realmente, dado que se trata de un cambio integral en la instalación en el que la configuración está bien definida, no tiene ningún sentido ir eligiendo uno a uno los componentes de la instalación. Con las pautas descritas en el apartado anterior, basta con dimensionar y establecer los requisitos de los aparatos más importantes para que una empresa experta sea capaz directamente de establecer un presupuesto que incluya los componentes más importantes conforme a las necesidades establecidas. Además, corre a cargo de estas empresas el elegir y diseñar otros aspectos más técnicos como la instalación eléctrica, los materiales adecuados o incluso las necesidades hidráulicas en este caso.

Por tanto, siguiendo con esta lógica, el proceso que se va a seguir será, en primer lugar, diseñar y dimensionar de manera aproximada y siguiendo las exigencias y recomendaciones del CTE y del RITE las partes y elementos más importantes de la instalación. Estas partes de la instalación a diseñar son las mencionadas en el apartado 3.3.1.1, es decir, la bomba de calor, el sistema de calefacción/refrigeración y el sistema de ACS. Con estos parámetros fijados, se contactará con unas cuantas empresas instaladoras que, tras visitar la vivienda, crearán unos presupuestos completamente a medida y siguiendo tanto los parámetros fijados, como su propia experiencia en materia de accesorios.

3.3.1.3.1. Dimensionado de los componentes más importantes

A. Bomba de calor:

La bomba de calor reversible aire/agua es el actor principal de este escenario. Es por esta razón por la que su dimensionamiento es el que más importancia tiene. Dado que la bomba de calor debe aportar tanto frío en verano, como calor en invierno, habría que tener en cuenta el valor de las cargas térmicas sensibles y latentes, tanto para la época de invierno, como para la de verano. No obstante, dadas las condiciones climáticas de la Comunidad de Madrid y el uso normal de la vivienda, el dimensionado para la época de invierno es mucho más crítico que el de verano. Es por esta razón por la que el dimensionamiento de la bomba de calor en cuestión se llevará a cabo únicamente teniendo en cuenta las restricciones y las cargas térmicas de invierno. Es decir, a efectos prácticos, se trataría del mismo procedimiento que si se dimensionase una caldera convencional, en el que la variable más importante es la potencia térmica pico que debe ser capaz de aportar en los momentos más fríos del invierno.

La potencia máxima que requerirá la bomba de calor vendrá dada tanto por las necesidades de la red de calefacción, como por las de ACS. En los sistemas de aerotermia, tal y como ya se ha venido comentando, tanto el circuito de calefacción, como el de agua caliente sanitaria trabajan con acumuladores, lo cual significa que realmente la caldera no tiene por qué llegar a tener que dar el 100% de su potencia útil en ningún momento, siempre y cuando. De hecho, expertos en la materia e instaladores especializados (GasFríoCalor, 2021) dejan de lado la potencia del sistema de ACS pues se suele considerar a efectos de cálculo que el circuito de agua se calentará en los momentos en los que la demanda no sea máxima (la cual es posible que no se llegue a dar nunca, dadas las características de la vivienda). Por tanto, el diseño de potencia máxima se realiza teniendo en cuenta las necesidades del circuito de calefacción.

Durante la realización del TFG ya se llevó a cabo el cálculo de las necesidades de calefacción individualmente para cada estancia de la vivienda. Dicho cálculo se utilizó para determinar la potencia que debía ser capaz de entregar los nuevos radiadores en cada una de las habitaciones. Las variables que se tenían en cuenta en ese proceso eran la localización de la vivienda dentro del territorio español, la exposición y orientación de cada habitación al exterior, el grado de aislamiento de la vivienda y el tamaño individual de cada sala dimensionada. De este modo, se fusionaron diferentes fuentes de bibliografía de expertos en la materia para llegar a unas tablas consolidadas que, teniendo en cuenta todas las variables de interés comentadas, eran capaces de calcular las necesidades de potencia calorífica para cada estancia de la casa. Esta metodología del cálculo de la necesidad calorífica se ha recogido en el apartado 8.3.3.1 del Anexo.

Es necesario recalcar que este proceso de cálculo de las necesidades de potencia calorífica de la vivienda se realizó ya teniendo en cuenta que los aislamientos del inmueble iban a ser sustituidos y optimizados. El resultado del cálculo de las necesidades de potencia calorífica resultó en una instalación de radiadores que debía ser capaz de entregar exactamente **34,26 kW**. En este caso, aunque los emisores serán el suelo radiante, la potencia a entregar por la instalación debe ser la misma o muy parecida.

Al fin y al cabo, hay que tener en cuenta de nuevo que la instalación cuenta con depósito de inercia, por lo que no hay por qué llegar exactamente a ese valor. Sin embargo, también hay que considerar que, para que lleguen 34 kW a los emisores, la bomba debe ser capaz de aportar potencia extra, pues se producen pérdidas a lo largo de la red. Por todo ello, se considera que cualquier bomba que se encuentre en una tolerancia de $\pm 20\%$ sobre los 34 kW, es decir, entre **28 y 40 kW** de potencia útil entregable aproximadamente, se consideraría razonable. Todo presupuesto que se encuentre dentro de esos parámetros será considerado y la elección entre bombas de distinta potencia tendrá en cuenta aspectos como su rendimiento y calidad, así como la calidad y precio de todos los elementos de la instalación.

B. El sistema de calefacción/refrigeración

➤ *Depósito de inercia:*

El depósito de inercia solamente es utilizado en aquellos meses en los que la bomba de calor está trabajando en modo calefacción. Aun así, su presencia en la instalación es muy recomendable. Realmente, no existe una forma consensuada de calcular el volumen necesario para los depósitos de inercia, pues depende de muchos factores, siendo el más importante de ellos el tipo de instalación en el que se inscribe. No es lo mismo un depósito de inercia destinado a estar en un circuito de calefacción convencional con caldera, que los depósitos de inercia existentes en las instalaciones frío-calor.

En ambos casos, el objetivo es evitar las constantes arrancadas y paradas de los equipos que están aportando el calor (caldera y compresor de la bomba) para así ahorrar energía. No obstante, mientras que en el primer caso (el de calefacción convencional), el foco está puesto en poder alcanzar sobradamente los picos de demanda y ahorrar una importante cantidad de energía, en el segundo de los casos (de las instalaciones frío-calor), el rol de los depósitos de inercia está más destinado a proteger la vida útil de la bomba de calor.

En definitiva, en las instalaciones frío-calor el volumen requerido de los depósitos de inercia suele ser bastante menor que en los otros casos, pues su función no es tanto la de ahorrar energía – que también –, sino la de permitir a los equipos (y más concretamente a los compresores de la bomba de calor) trabajar de forma cómoda y según sus especificaciones. De este modo, en función de la bomba de calor que se utiliza y que se elija en cada caso, es tarea de los propios fabricantes el elegir un depósito de inercia que permita trabajar al equipo de forma cómoda. Así, aunque la recomendación general según la práctica común es la de calcular de 15 a 30 L por kW instalado, la decisión final sobre el volumen del depósito vendrá dada por el propio instalador.

➤ *El circuito y sus emisores: el suelo radiante:*

Probablemente, dadas las dimensiones de la vivienda a climatizar, la inversión más importante que haya que realizar sea en suelo radiante. Según los datos recogidos en la vivienda, habitación por habitación, la superficie climatizable de la vivienda es de exactamente 380 m² (230 m² en la primera planta y 150 m² en la segunda), tal y como se puede apreciar en la Tabla 10. Es por esta razón por la que el suelo radiante por agua es uno de los puntos más críticos de este escenario.

Según estimaciones en base a la realización de varios proyectos realizados por la empresa Selectra, el precio de instalar suelo radiante en viviendas los 60 – 70 €/m². Este precio incluye el propio suelo radiante (~20 €/m²) y su instalación (~ 25 €/m²), así como demás aparatos importantes, como son colectores, conexiones, cementos, etc. (~20 €/m²). Además, si la instalación se realiza en viviendas ya existentes, donde hay que levantar el suelo y volver a ponerlo, el precio total de la instalación sube otros ~20 €/m², llegando a un precio total de 80 – 90 €/m² (Martínez González, 2023).

De esta manera, teniendo en cuenta las dimensiones del inmueble, se puede esperar que el precio aproximado de incluir el suelo radiante en la vivienda – cambiando el circuito de tuberías que lo alimenta – sea de entre 30.000 € y 40.000 €. Así, queda demostrado que la instalación de un circuito de suelo radiante en la vivienda objeto de estudio supone un desembolso bastante más elevado que el hecho de incluir los equipos de aerotermia. Es por esta razón por la que se planteará instalar por separado (con distintos fabricantes) esta parte y el resto de los equipos de aerotermia.

Con todo lo explicado anteriormente en cuestión de costes de inversión, el diseño de una instalación de suelo radiante constaría de dos partes:

1. **El diseño de los emisores:** El primer paso consiste en realizar el cálculo del suelo en cada habitación: Diámetro, longitud, distancia entre tubos y material. Realmente, el material no es una variable de diseño, pues los tubos utilizados hoy en día son siempre de polietileno reticulado (PE-X). Por tanto, para llevar a cabo el diseño de los tubos en cada habitación, lo único necesario es dimensionar las necesidades caloríficas de cada estancia. De nuevo, a la hora de dimensionar la potencia calorífica necesaria por sala, el punto más importante son las cargas térmicas de invierno (Gázquez, 2013). Tal y como se ha explicado en el dimensionado de la bomba de calor, estas necesidades de potencia ya fueron calculados a lo largo del TFG habitación por habitación. Los cálculos exactos llevados a cabo en aquel momento se muestran en el Anexo 8.3.2. Además, en la Tabla 10 se muestra un resumen de los resultados de dicho dimensionamiento.

Es necesario hacer hincapié en que, realmente, el correcto dimensionado del suelo radiante que se va a instalar solo supone alrededor de un 20% total del precio total de la instalación. Por esta razón, con que el fabricante tenga en cuenta la Tabla 10, casi cualquier tipo de tubo que se escoja será tomado como válido a la hora de escoger entre un presupuesto y otro. Es decir, queda en manos del fabricante elegir el diámetro y paso de los tubos de polietileno que se instalarán debajo del suelo de cada habitación dado el dimensionamiento mostrado.

Tabla 10. Dimensiones exactas de cada una de las estancias de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

Habitación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
Recibidor	16,6	1.248,8
Cuarto de Estar	16,8	1.328,6
Habitación 1	12,9	1.328,6
Habitación 2	13,1	1.248,8
Baño 1	6,8	624,4
Baño 2	4,8	446,0
Cocina	39,9	4.144,0
Salón	101,8	10.494,4
Pasillo Planta 1	16,3	-
Total P1	229,0	20.863,6
Habitación 3	21,2	2.452,80
Baño 3	6,3	715,40
Baño 4	7,1	715,40
Baño 5	16,7	1.744,6
Habitación 5	13,8	1159,6
Habitación 6	16,3	1.430,8
Estudio	22,1	2.234,4
Habitación 7	19,6	2.230,0
Baño 5	7,0	713,6
Pasillo Planta 2	20,7	-
Total P2	150,80	13.396,6
TOTAL	379,8	34.260,2

2. **El diseño del circuito y de los aislantes:** Dada la importancia que tiene en términos económicos, también sería conveniente realizar el cálculo tanto de los otros elementos del circuito que se encargan de la distribución y retorno del agua desde el depósito de inercia hasta los propios emisores, como de los materiales aislantes que se instalan en el suelo.

- **Los colectores:** Conectan las tuberías de distribución del sistema de calefacción con cada tubo de suelo radiante que va a cada una de las habitaciones del inmueble (González Sierra, 2018). Por tanto, existe un colector de ida (rojo) y otro de vuelta (azul) para cada estancia de la vivienda que posee tubos de suelo radiante. De esta manera, en la

instalación objeto de estudio se instalarán 17 colectores de ida y 17 de vuelta, dado que hay 17 estancias a calentar. En la Ilustración 21 se muestra un ejemplo de conexión de los colectores a las tuberías principales. Su importancia es vital dentro de la instalación, dado que se encargan del purgado, mantenimiento y regulación de cada sala del sistema, para lo cual constan de cabezales electrotérmicos y termostatos.

Los aspectos a tener en cuenta a efectos de dimensionamiento son el hecho de que deben colocarse a una altura superior del tubo que alimentan, el hecho de que deben estar protegidos por armarios metálicos accesibles, y el hecho de que debe haber distintos armarios de colectores para cada planta o para cada zona. Un aspecto importante del suelo radiante es el hecho de que la longitud de los tubos de suelo radiante no conviene que sea demasiado larga, por tanto, es recomendable que haya más de un armario de colectores por planta (probablemente dos por planta). Todos estos aspectos serán tenidos en cuenta por la empresa instaladora a la hora de diseñar y construir la instalación de suelo radiante.



Ilustración 21. Ejemplo de conexión de colectores en una vivienda. (Fuente: González Sierra)

- **El circuito de tuberías:** El circuito de tuberías del sistema de calefacción existente está diseñado para abastecer radiadores y, por ello, llega a cada estancia de la vivienda. Sin embargo, según lo estudiado con el suelo radiante, ahora el circuito de tuberías solo debe unir el depósito de inercia con los correspondientes armarios de colectores distribuidos alrededor de la vivienda (probablemente dos o tres en la primera planta y dos o tres en la segunda). De esta manera, la empresa encargada de realizar la instalación deberá decidir si la instalación puede ser aprovechada. Es decir, si a nivel de diseño cuadra con las nuevas ubicaciones de los colectores (lo cual es muy probable, dado que las nuevas localizaciones de los colectores se pueden elegir estratégicamente para que cuadren) y, más importante, si se encuentra en condiciones aceptables. Hay que recordar que el estado actual de la red de tuberías es uno de los principales puntos a revisar de este proyecto

- **La bomba de impulsión:** Dado que el diseño exacto de la nueva red de calefacción es incierto y depende de la empresa encargada de hacer la instalación, es imposible dimensionar las características exactas de la bomba. Es por esta razón por la que, en este caso, el diseño y elección de la bomba de calefacción será realizado por la empresa instaladora. De este modo, la bomba elegida para el sistema de calefacción durante el TFG (bomba Grundfos Magna3) no seguirá siendo válida.
- **Los aislantes del suelo:** Aparte de todo el entramado de tuberías que lleva el agua caliente, también es necesario realizar un buen montaje del suelo en sí, para que el calor que se transmita sea efectivo. En este caso, el diseño del suelo se realizará siguiendo las indicaciones de la Ilustración 22. El primer paso consiste en aislar los tubos de manera que no haya transmitancia térmica a través de suelos y paredes, poniendo aislamiento perimetral (~1 cm) y panel aislante (~4cm). Además, debajo de ellos se pone una lámina de plástico de polietileno para evitar el vapor. Los tubos (dibujados como círculos azules en la Ilustración 22) se inscriben sobre la lámina de polietileno y se cubren con mortero con una capa mínima de otros 4 cm. Por último, se coloca el pavimento en sí elegido para la vivienda, que en este caso es parquet en su totalidad. De este modo, se logra maximizar la eficiencia del suelo radiante.

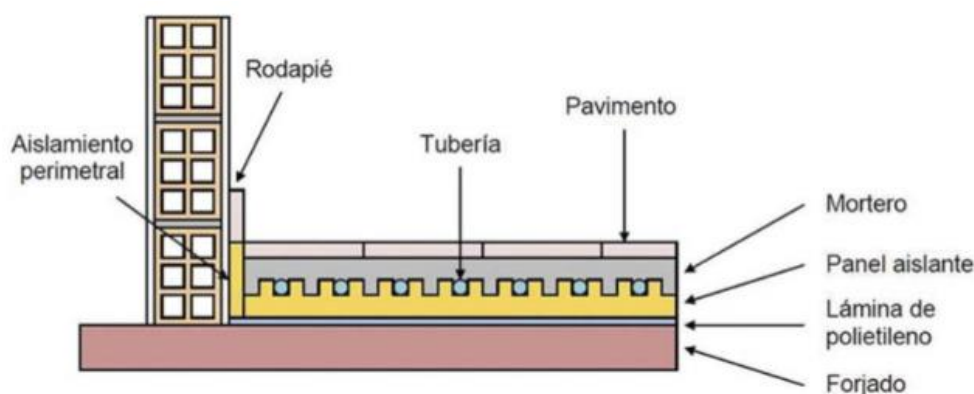


Ilustración 22. Sección del suelo radiante. (Fuente: González Sierra)

C. El sistema de ACS: El Interacumulador ACS:

Tal y como ya se introdujo, el circuito de agua caliente sanitaria se mantendrá tal y como está, a excepción del interacumulador de ACS, que ya cuenta con cierta antigüedad. En cuanto al resto del circuito de tuberías y las bombas de impulsión utilizadas o propuestas durante el TFG (Grundfos CME para circulación y Grundfos COMFORT para recirculación), se dejarán tal y como están, salvo por pequeños parches y cambios puntuales en aquellos puntos del circuito que estén más degradados.

El método utilizado para el dimensionamiento del volumen de acumulación viene dado por lo estipulado en el DB HE4 del CTE. La forma de calcularlo tiene en cuenta el

número de personas que habitan en la vivienda y la cantidad de agua caliente (acumulada a una temperatura determinada) que consume cada una de estas personas al día.

Por un lado, teniendo en cuenta las dimensiones de la vivienda, lo normal es pensar que la casa, contando con 7 dormitorios, debe ser capaz de funcionar correctamente como mínimo para 10 personas. No obstante, según la Tabla a, del Anejo F, la cual se adjunta en la Ilustración 23, para un número de dormitorios superior a 6, solo han de considerarse 7 personas para el cálculo.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Ilustración 23. Tabla a-Anejo F del DB HE4 sobre valores mínimos de ocupación para el cálculo del volumen de acumulación de ACS. (Fuente: Código Técnico de Edificación)

Por el otro lado, en el Anejo F del documento básico HE4 del CTE se expone que el consumo diario por persona de ACS para una temperatura de acumulación de 60 °C (que es lo más normal en los depósitos de acumulación con calderas), es de 28 litros (p.52). No obstante, para instalaciones de aerotermia, la temperatura de acumulación suele ser menor a 60 °C, por lo que en este caso hay que suponer un mayor consumo en litros/persona/día (por esta razón los depósitos de ACS en instalaciones a baja temperatura son de mayor tamaño). En dicho Anejo, se dan unas tablas muy concretas para corregir ese consumo, en función de la temperatura exterior e interior del agua y del ambiente. Sin embargo, según el RITE, para instalaciones de aerotermia, puede suponerse un consumo de 35 L/persona/día.

De este modo, multiplicando ambos factores, se obtiene un volumen de acumulación resultante mínimo de: $35 \cdot 7 = 245 \text{ L}$. Así, cualquier depósito que se encuentre por encima de dicho valor, podría ser válido para la instalación en cuestión, incluido el existente actualmente, que cuenta con una capacidad de 300 L.

3.3.1.3.2. Elección de los equipos

Con todo el dimensionado realizado y las ideas claras sobre sobre lo que es más conveniente para la instalación, se ha encargado a tres empresas el estudio y el análisis de la instalación, para la realización de un presupuesto a medida que cuadre con los números y las conclusiones que han sido aportadas en el punto del dimensionamiento. Tras recibir diferentes propuestas, la decisión más económica y que más se ajusta a los parámetros dimensionados consiste en realizar la instalación de los equipos de aerotermia y depósitos por un lado (empresa ECOPEL), mientras que el circuito de calefacción y suelo radiante será realizado por una empresa distinta y más especializada en ese ámbito (empresa ESAK). A continuación, se explican las características de los que se incluye dentro de cada presupuesto, así como las características más importantes de los equipos que han sido seleccionados.

Antes de empezar, es necesario recalcar que todas las decisiones que se han tomado en el ámbito económico, así como en otros temas no ingenieriles, como la mano de obra o la cuantía y gestión de las subvenciones, se encuentran en el Documento 2 de este trabajo. Dicho documento cuenta con los comentarios necesarios, los presupuestos desglosados y los presupuestos reales de cada uno de los escenarios y propuestas que han sido tenidos en cuenta para la consecución de este trabajo.

A. El circuito bomba – depósitos. El sistema de Aerotermia y sus equipos: empresa ECOPEL

La empresa ECOPEL ofrecía una solución integral de aerotermia, incluyendo todos los equipos necesarios, los equipos de regulación e impulsión, así como el diseño del circuito de calefacción con el correspondiente suelo radiante. Dicha solución se encuentra en la Ilustración 211, en el Documento 2, que incluye los presupuestos reales. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión que únicamente se va a encargar de la parte de los equipos: La bomba de calor, del depósito de inercia y del interacumulador de ACS, así como todos los elementos de conexionado entre ellos, es decir, lo que era el circuito caldera – depósito que se muestra en la Ilustración 147 del Anexo 8.1.4.1.

La decisión por este presupuesto ha venido dada porque el dimensionamiento que la empresa realizaba era el que más se ajustaba al realizado en este trabajo y, además, resultaba bastante económico. Sin embargo, el suelo radiante se ha preferido contratar de una empresa especializada en ello, dado que económicamente salía más rentable. Los equipos seleccionados por la empresa son los siguientes.

➤ *La bomba de calor: Monoblocco R32 de Mitsui*

La bomba de calor elegida por ECOPEL y la elegida para el desarrollo de este escenario es la bomba de **calor Monoblocco R32 Triphase 30**, del fabricante italiano **Mitsui**. De todas las soluciones ofrecidas por las diferentes empresas, esta es la que daba una potencia de calefacción más grande (**30,1 kW**, que se encuentra dentro del rango predimensionado en el apartado anterior), asegurando que en los meses más fríos el confort era el adecuado. Su precio unitario, descontando IVA, es de **10.710,00 €**. La Ilustración 24 muestra el aspecto de la bomba de calor elegida. Sus datos más específicos en el Anexo 8.2.2.2.



Ilustración 24. Bomba de calor Monoblocco R32 de Mitsui. (Fuente: Mitsui)

Otra de las razones de peso por las que esta bomba ha sido la elegida es el hecho de que la instalación es monobloc, es decir, que consta de un solo equipo que incluye el aparato exterior y el interior, o lo que es lo mismo, el intercambiador y la bomba. En viviendas como la que es objeto de estudio, en las que hay espacio suficiente para albergar este tipo de equipos, se trata de la opción óptima, dado que el gas refrigerante (R32 en este caso) tiene menos pérdidas y es más estético. Además, con esta configuración, la sustitución es mucho más fácil, dado que basta con instalar la nueva bomba en exactamente el mismo punto que se encontraba la antigua caldera de gas natural.

Para terminar, la bomba de calor reversible cuenta con todas las comodidades que cualquier bomba debe tener como, por ejemplo, la capacidad de controlarse a distancia en cualquier dispositivo móvil, la tecnología inverter y unos niveles sonoros casi inexistentes. Tal y como ya se ha comentado, la potencia de la bomba en calefacción es de 30,1 kW, que es igual que la potencia que puede dar en refrigeración. Además, si se inscribe en instalaciones con bajas temperaturas del agua, como va a ser el caso objeto de estudio, su etiqueta es A++, dado que su COP (para una temperatura exterior de 7 °C) es de 3,91 y su EER de 4,00. Es más, sus rendimientos estacionales para temperaturas promedio (que es el existente en Madrid), que serán claves en los cálculos de ahorro energético, son todavía más grandes (SCOP = 4,19 y SEER = 5,71).

- *Los demás equipos y sus conexiones: El depósito de Inercia y el interacumulador de ACS.*

Dada la presente extensión del trabajo, no merece la pena pararse a discutir uno por uno las principales características de los equipos de inercia y de acumulación de ACS. Basta con saber que todos los equipos han sido gestionados por la empresa ECOPEL, justo con sus proveedores y fabricantes de confianza. Simplemente hace falta comentar, que ha sido necesaria la instalación un kit de 2 circuitos que unan la bomba de calor, por un lado, con el depósito de inercia y, por otro, con el depósito de ACS. Este kit (que incluye materiales de tuberías y accesorios, y también elementos de impulsión) tiene un precio unitario de **3.153,00 €**. En cuanto a las características del depósito de inercia y del interacumulador:

- **Depósito de Inercia Mitsui de 100 L.** Tal y como se adelantaba en el apartado del dimensionamiento, la elección del depósito correspondiente iba muy ligado a las capacidades y necesidades de la bomba. Dado que se trata de una bomba de gran calidad y con muy buen funcionamiento, la empresa ECOPEL ha decidido que con un depósito de inercia de 100 L es más que suficiente para mantener un funcionamiento correcto de la instalación. Su precio unitario, al ser del mismo proveedor que la bomba, es de únicamente **475,00 €**, según la valoración ofrecida por la empresa en el Documento 2 de este trabajo.
- **Depósito ACS de 300 L de Baxi - Roca.** Dado que el depósito actual es de la marca histórica Roca y poseía 300 L (que se encuentra por encima del mínimo calculado de 245 L), la decisión ha sido sustituir simplemente exactamente el depósito existente por uno más moderno de la misma marca y con exactamente las mismas prestaciones. Su precio es de **2.163,00 €**. (Consultar Anexo 8.2.2.2.)

B. El circuito de calefacción/refrigeración. El suelo radiante: empresa ESAK

Tal y como ya se ha comentado, la empresa ECOPEL ofrecía una solución conjunta de todo el sistema, que incluía también todo el circuito de calefacción y también el de ACS (aunque este no se incluía en el presupuesto por razones que se exponen en el próximo apartado). No obstante, debido a la magnitud del circuito de calefacción a instalar, se ha decidido que una empresa más especializada y que ofrecía mejores precios (ESAK) se encargará de todo el circuito de calefacción/refrigeración de la vivienda.

Aunque el circuito de calefacción/refrigeración también incluye el depósito de inercia, el hecho de que su dimensionamiento dependiera directamente de las características de la bomba de calor elegida hace que el depósito haya diseñado por la empresa ECOPEL. De este modo, siguiendo cuidadosamente las características actuales y futuras de la instalación, la empresa ESAK se encargó tanto del diseño de los emisores (es decir, del suelo radiante), como también de todos los elementos que rodean al circuito en materia de colectores, tuberías, bombas hidráulicas y aislamientos. Sus decisiones han sido las siguientes:

- 1) **Emisores y aislamientos:** Dadas las dimensiones de la vivienda y las características de cada habitación se han elegido 400 m² de tubo de suelo radiante PEX de polietileno reticulado de 16 x 1,9 mm. No obstante, como hay ciertas estancias que requieren menor aislamiento, en 300 m² de la vivienda se han elegido planchas de aislamiento térmico y acústico GRAFIPLAC de espuma de poliestireno de 34 mm de grosor, mientras que en 100 m² (suma de las habitaciones correspondientes a la segunda planta, que requieren menos aislamiento dado que no están en contacto con el calor/frío del propio terreno) las planchas son únicamente de 19 mm de grosor. Todo ello tiene un precio de **18.100,00 €**. En el Anexo 8.2.2.2 se encuentran algunas características de los emisores elegidos.



Ilustración 25. Suelo radiante GRAFLIPAC. (Fuente: ESAK)

- 2) **Colectores y armarios:** Dadas las condiciones de la vivienda, se ha decidido colocar los colectores en 5 ubicaciones distintas de la vivienda, para maximizar la eficiencia de la instalación. Ello implica la instalación de **5 armarios** metálicos en los puntos elegidos. Los colectores elegidos vendrán todos con cabezal electotérmico de 230 V para la correcta regulación del caudal y de la temperatura por cada tubo. Su precio es de **5.374,00 €**.

- 3) **Tuberías de conexión.** Dado que para realizar la obra del suelo radiante es necesario levantar prácticamente toda la vivienda, las tuberías de cobre existentes están un poco anticuadas y las ubicaciones de los nuevos armarios no cuadran demasiado bien, se ha decidido que, en gran parte, se sustituirán las tuberías existentes por nuevas tuberías de polietileno reticulado con peróxido (PEX COL). El precio unitario y calculado de los materiales es de **3.475,00 €**. Hace falta comentar que, aunque las tuberías están anticuadas, podrían mantener su funcionamiento un muy largo período de tiempo. Es más, es posible que cuando se haga la obra, algunas partes finalmente no sean sustituidas. No obstante, a efectos de cálculo se considerará que se cambiarán todas las tuberías.
- 4) **Bombas hidráulicas:** Como ya se adelantaba, la bomba del circuito de calefacción elegida durante el TFG muy probablemente iba a dejar de ser válida, pues las necesidades del circuito cambiaban. La bomba elegida a efectos de este nuevo circuito de calefacción también es de la familia Grundfos Magna, como la que se eligió en aquel momento, no obstante, en este momento la bomba tiene unas necesidades de caudal mayores. Por ello, se ha elegido la **Grundfos Magna 32-100**, que contiene exactamente las mismas características de bajo consumo que la elegida en el TFG, pero posee mayor potencia. En el Anexo 8.2.2.2. se pueden encontrar sus datos específicos. Su precio unitario es de **1.622,00 €**.
- 5) **Regulación:** A efectos de regulación, aparte de los colectores, se van a poner 15 termostatos inteligentes en las habitaciones con más importancia de la vivienda. Todos ellos por un precio de **1.185,00 €**.

Con la proposición de todas estas decisiones, la instalación del suelo radiante en la vivienda por parte de la empresa ESAK sale a un precio unitario total de **30.394,50 €**, lo que equivale exactamente a 80 €/m², lo cual entra dentro de lo estipulado en el dimensionamiento. Lo único que no se incluye dentro de este presupuesto son trabajos de carpintería, que subirán algo el precio. Todo esto se explica con más detalle en el apartado del presupuesto.

C. El circuito de ACS. Bomba de impulsión Grundfos.

El único punto restante es circuito de agua caliente sanitaria. Realmente, como se ha dicho anteriormente, este punto también se incluía dentro del presupuesto de ECOPEL, dado que ellos mismos han elegido el interacumulador. No obstante, tras hacer un estudio de la instalación y de las tuberías, se ha llegado a la conclusión de que no merece la pena cambiar toda la instalación de ACS, dado que las tuberías se encuentran en un estado lo suficientemente bueno como para no tener que realizar tal inversión.

Eso sí, para arreglar los problemas de presión con los que contaba la instalación, será necesario incluir la bomba de impulsión Grundfos CME 1-2 que se diseñó durante la realización del TFG. Los datos de dicha bomba se encuentran en el Anexo 8.2.2.1. Además, la bomba de recirculación Grundfos COMFORT se seguirá manteniendo, tal y como se decidió durante el transcurso del TFG.

3.3.1.4. Resumen de las medidas tomadas

En resumen, el sistema de aerotermia con suelo radiante ha sustituido por completo el sistema actual de calefacción y ha conseguido, a la vez, crear un sistema de refrigeración que antes no existía en la vivienda. Con todas estas medidas en mente, el coste total de la instalación de aerotermia es de **76.159,22 €**. En la Tabla 11 se desglosan los costes que a continuación se explican. Para más entendimiento, se recomienda visitar la Tabla 91 del Documento 2: Presupuestos.

- 1) **Equipos (circuito bomba – depósitos).** Son las medidas diseñadas por la empresa ECOPEL, e incluyen los equipos principales y las conexiones entre sí. Estos son la bomba de calor monobloque, el depósito de inercia, el interacumulador ACS y todo el kit necesario para unir dichos equipos. El precio total de las medidas, incluyendo IVA y mano de obra, es de **26.403,41 €**.
- 2) **Circuito de calefacción/refrigeración.** Son todas las medidas llevadas a cabo por la empresa ESAK en materia de tubos de suelo radiante, aislamientos, tuberías de conexión, bombas, termostatos y colectores. Incluyendo los precios de mano de obra y carpintería (explicados detalladamente en el Documento 2), el precio total de estas medidas, con IVA, es de **48.273,56 €**.
- 3) **Circuito de ACS.** Únicamente es necesario la inclusión de la bomba Grundfos CME 1-2, que ya fue diseñada durante el TFG. Su precio, incluyendo su instalación y portes, es de **1482,25 €**. Todo lo demás se queda tal cual está.

Tabla 11. Resumen de los cambios en la instalación de aerotermia. (Fuente: Elaboración propia)

1	Bomba de calor Monoblocco R32 de Mitsui	26.403,41 €
	Depósito de Inercia de 100 L de Mitsui	
	Interacumulador ACS 300 L de Roca	
	Kit de Aerotermia	
	Extras: Mano de obra, subvenciones, etc.	
2	Tubos y aislamientos	48.273,56 €
	Colectores y armarios	
	Tuberías de conexión	
	Bomba Grundfos Magna1	
	Termostatos	
	Extras: Carpintería	
3	Bomba Grundfos CME 1-2 A	1.482,25 €
		76.159,22 €

3.3.2. ESCENARIO II: CALDERA DE BIOMASA CON RADIADORES Y AEROTERMIA POR CONDUCTOS

Este escenario incluye como fuentes de calor la caldera de biomasa y la aerotermia por conductos. Realmente, este escenario surge de la necesidad de incluir aire acondicionado frío por conductos. Dado que las bombas de calor aire-aire hoy en día son reversibles, aparte de tener refrigeración por conductos, también es posible calefactar. No obstante, esta opción suele ser más típica en lugares más cálidos, en los que no se requiriese de un grado muy alto de calefacción. Por tanto, teniendo en cuenta el clima de Madrid, el hecho de que ya hay una instalación existente de agua caliente, y de que el ACS debe tener su propia fuente de calor, también es necesario incorporar una fuente de calor al circuito de agua. De este modo, según la discusión realizada, la opción más interesante era la de contar con una caldera de biomasa que reemplazara la actual caldera de gas.

En cuanto al circuito de agua, se ha llegado a la conclusión que, dado que ya es suficiente inversión la que hay que llevar a cabo para crear una instalación de aire acondicionado por conductos, parece que no tiene sentido también el hecho de incluir suelo radiante, aunque se esté planteando cambiar toda la red de tuberías. Otra opción hubiese sido tener la caldera de biomasa con suelo radiante y una bomba de calor que refrigerará a través de ese suelo radiante. No obstante, esa opción es muy parecida a la de incluir aerotermia y geotermia, pero con más desventajas. Así, a continuación, se procede a la elección y dimensionamiento de los equipos.

3.3.2.1. El circuito de agua: Caldera de biomasa con radiadores

La primera parte de este escenario implica básicamente centrarse en el cambio de la actual caldera de gas natural, por una caldera de biomasa. Hay que tener en cuenta que, aunque la bomba de calor también servirá para calentar en algunos meses no muy fríos, la idea es que la caldera de biomasa sea la encargada de trabajar en los meses más fríos del año. Además, dado que lo importante es crear alternativas para la instalación actual, tiene todo el sentido del mundo dimensionar una instalación de biomasa – con su correspondiente circuito de agua caliente – que sea capaz por sí sola de abastecer el calor necesario a la vivienda. Eso significa que la instalación de biomasa se dimensionará sin tener en cuenta que habrá una bomba de calor aire-aire que también pueda aportar algo de calor. Esto, aunque aumentará un poco la inversión, permite asegurar el confort y facilita la sustitución y adecuación de la nueva caldera al circuito existente.

Por ello, este escenario centrará sus esfuerzos en explorar a fondo la tecnología de la biomasa, para así poder proponer el sistema que más se adecúe a las características de la vivienda. Además, dado que en este escenario el objetivo será únicamente cambiar una caldera por otra, habrá que analizar de manera cuidadosa cuáles son los cambios adicionales que merece la pena introducir en la instalación. Por tanto, al revés de lo que pasaba en el escenario anterior, en el que todo iba de la mano, aquí se discutirá también individualmente sobre el circuito de tuberías de calefacción y ACS, sobre los depósitos y acumuladores, sobre los radiadores y sobre las bombas hidráulicas.

3.3.2.1.1. Introducción a la biomasa

Antes de comenzar con el dimensionamiento de la caldera en sí, hace falta realizar un análisis un poco más a fondo sobre la biomasa, en la que se puedan descubrir las ventajas e inconvenientes concretos de esta tecnología, así como las tendencias actuales en materia de biomasa. En cuanto a las características de una caldera de biomasa, su funcionamiento es exactamente igual al de la caldera de gas, solo que en este caso el combustible que se quema para calentar el agua destinada a calefacción y a ACS es la biomasa.

Según la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, la biomasa se define como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico. Es decir, la biomasa es materia orgánica utilizada como fuente de energía a través del proceso de combustión. Su naturaleza orgánica y reutilizable es lo que lo convierte en una fuente de energía renovable, tal y como se muestra en la Ilustración 26.

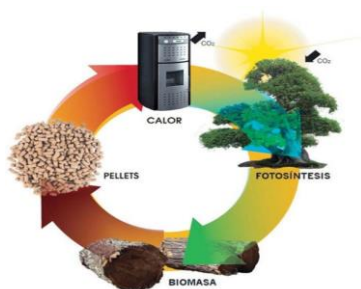


Ilustración 26. Ciclo de la biomasa. (Fuente: Grupo Visiona)

Dada la definición de biomasa, hay muchos tipos de materiales orgánicos que pueden ser utilizados en las calderas de combustión de las viviendas. Entre ellos, destacan las calderas de pellets, las de astillas, las de leña y las de huesos de aceituna. Aunque todas tienen sus ventajas e inconvenientes, para viviendas unifamiliares en las que se requiere de potencias bajas y medias, como es el caso, se utilizan las calderas de pellets, que están muy estandarizadas, poseen una alta eficiencia y un elevado poder calorífico. Los pellets (mostrados en la Ilustración 27) se elaboran a partir de la compresión del serrín natural seco, formando pequeños cilindros muy densos y duros, con un elevado poder calorífico.



Ilustración 27. Pellets. (Fuente: Jotul)

Aunque las calderas de pellets suponen una solución renovable al gas natural, en la que no parece que haya que hacer demasiados cambios, como todas las tecnologías, esta opción posee algunas ventajas e inconvenientes que es necesario explorar para tener claro qué consecuencias tiene en el día el cambio de la caldera.

A. Ventajas de la biomasa

- **Precio estable y económico:** La principal ventaja que aporta ahora mismo la biomasa con respecto al gas natural es la estabilidad de los precios del pellet, dado que no depende de mercados internacionales de combustibles fósiles. Mientras que el precio del gas sigue subiendo fruto un contexto geopolítico inestable, el pellet se fabrica a partir de recursos locales.
- **Necesidad de pocos cambios:** Un beneficio muy grande con respecto al hecho de diseñar una instalación aerotérmica o geotérmica en la vivienda, es el hecho de que la caldera de biomasa, si se diseña de manera adecuada, puede ser reemplazada directamente por la caldera de gas existente sin necesidad de hacer ningún cambio más. No obstante, habrá que tener cuidado a la hora de diseñar el funcionamiento en verano de que la caldera es capaz de trabajar adecuadamente a potencias muy bajas.
- **Energía limpia e inagotable:** Dado que la biomasa es materia orgánica utilizada como fuente de energía, se considera una fuente de energía renovable y respetuosa con el medioambiente, con aporte de CO₂ neutro. Además, la extracción de la biomasa ayuda a la limpieza de los montes, al uso de residuos industriales y supone una fuente de empleo en el ámbito rural.
- **Tecnología segura y avanzada:** Como último punto, hay que resaltar que la biomasa ya no es un concepto nuevo y en pleno desarrollo, sino que ya es una tecnología segura y que alcanza unos rendimientos totalmente testados. Además, están empezando a surgir las calderas de condensación a base de biomasa capaces de trabajar a baja temperatura.

B. Inconvenientes de la biomasa

- **Menor poder calorífico:** En comparación con los combustibles fósiles, poseen un menor poder calorífico. Es decir, para la misma cantidad de combustible, el calor generado es aproximadamente la mitad. No obstante, en términos de rendimientos, llega a alcanzar rendimientos caloríficos del 90%. Aunque es menor que el de las nuevas calderas de gas de condensación y mucho menor que los de la bomba de calor, probablemente sí que supone un aumento de rendimiento con respecto a la caldera existente.
- **Necesidad de espacio de almacenaje:** Una de las mayores desventajas es que, mientras que el gas proviene de gaseoductos, la biomasa necesita ser almacenada en alguna parte antes de alimentar a la caldera, pues si no habría que estar comprando constantemente bolsas de pellets. Además, este espacio de almacenaje

es conveniente que se sitúe cerca de la caldera. Aunque esto podría suponer un problema en cualquier vivienda, en el inmueble objeto de estudio hay espacio de sobra para almacenar los pellets.

- **Comodidad:** Muy relacionado con el punto anterior está el tema de la comodidad. Al fin y al cabo, hay que estar pendiente de cuánto combustible queda disponible, de manera que se contacte a tiempo con el distribuidor. Además, se producen más cenizas que en una caldera de gas, por lo que debe ser limpiada con mayor asiduidad.
- **Precio de la caldera:** Como último inconveniente, aunque se trata de un tema casi insignificante, hay que tener en cuenta que el precio medio de una caldera de biomasa suele ser más alto que el de una caldera de gas. No obstante, las diferencias no son exageradas y es probable que esa diferencia se recuperase muy rápidamente, tal y como se encuentran los precios del gas en este momento.

Al fin y al cabo, repasando a fondo la lista de inconvenientes, se puede concluir fácilmente que estos no presentan ningún tipo de impedimento para la instalación de una caldera de biomasa en la vivienda. Sobre todo, si se tienen en cuenta las características del inmueble y si se compara con el hecho de seguir apostando por una caldera de gas. No obstante, si la comparación se realizara con las bombas de calor, estas desventajas sí que podrían tener un poco más de peso, pero no esto no es materia de este capítulo. De este modo, siguiendo adelante con la elección y dimensionamiento de la caldera, el siguiente paso deberá ser explicar bien los componentes de la caldera, así como su labor en el funcionamiento global de la máquina.

3.3.2.1.2. Componentes de los sistemas de biomasa

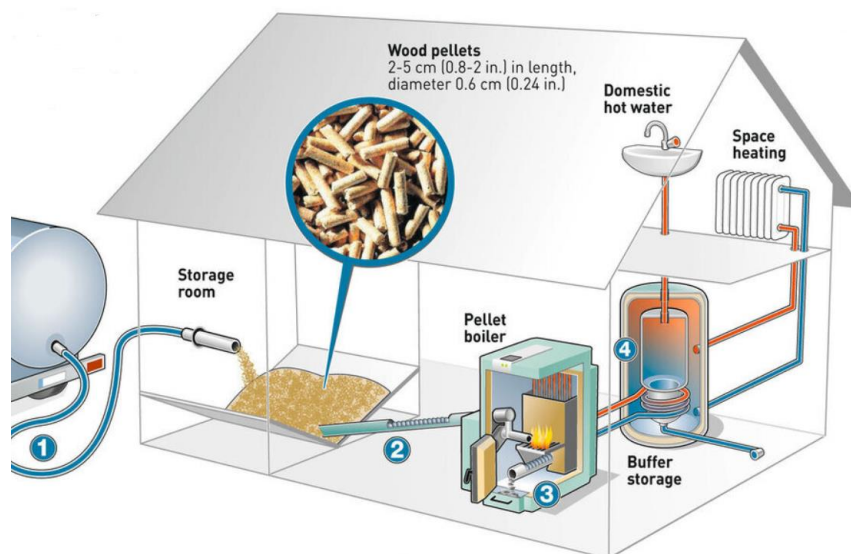


Ilustración 28. Esquema de funcionamiento de una caldera de biomasa. (Fuente: www.unendlich-viel-energie.de)

Las instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria con biomasa destinadas a viviendas unifamiliares suelen tener el aspecto de la instalación mostrada en la Ilustración 28. Aunque la configuración exacta puede cambiar, dependiendo de la caldera exacta y de las necesidades de la red, básicamente los cuatros puntos mostrados en la ilustración son los temas sobre los que habrá que decidir.

1. **Aprovisionamiento de los pellets.** En función del tamaño de la instalación y del espacio de almacenaje, los pellets se pueden comprar en sacos de 15 kg en estaciones de servicio, o pueden ser entregados a domicilio, bien en sacos de 1000 kg o a granel (en camión cisterna, tal y como se muestra en la ilustración). Debido a las condiciones de la vivienda – en cuanto a que tiene grandes dimensiones, buena accesibilidad y actualmente es habitada por personas mayores –, la opción más adecuada es la de recargar a granel mediante camión cisterna.
2. **Silo.** El silo es el lugar donde se almacenan los pellets para ser llevados de manera automática a la caldera de biomasa. En instalaciones más pequeñas, el silo se encuentra directamente dentro de la caldera. Su dimensionamiento se realiza en función de la demanda, del espacio disponible y del tipo de combustible. Lo más recomendable para el dimensionamiento del silo según el RITE es tener almacenamiento suficiente para solo ser recargado una vez a año, poner suelos inclinados y ser capaz de cubrir una demanda de 2 semanas a consumo máximo.
3. **La caldera.** La caldera en sí tiene exactamente el mismo funcionamiento que cualquier otro tipo de caldera, Tiene la cámara de combustión para convertir el combustible en calor, el intercambiador para transferir el calor al circuito de agua, un sistema de limpieza para limpiar las cenizas, una unidad de control y una chimenea que facilite la salida de humos.
4. **Sistema hidráulico.** El sistema o circuito hidráulico es exactamente el mismo que se ha venido comentando a lo largo de todo el trabajo. Es decir, un sistema de calefacción convencional. Los puntos a diseñar del sistema hidráulico serán:
 - **Acumulador ACS:** Habrá que decidir si mantener el acumulador existente o cambiarlo por otro más moderno.
 - **Depósito de Inercia:** Habrá que tomar la decisión de incluirlo o dejar la instalación tal y como está. Esto será un punto de discusión que influirá de manera clave en la elección de la caldera de biomasa.
 - **Circuito de tuberías** tanto de ACS como de calefacción.
 - **Emisores:** En este caso serán los radiadores que se eligieron durante el transcurso del TFG.
 - **Bombas de impulsión.** En función de los cambios que se hayan realizado, se mantendrán las decisiones tomadas en el TFG o se elegirán otras nuevas.
 - **Otros accesorios propios de la red:** Conexiones eléctricas, vasos de expansión, válvulas...

3.3.2.1.3. Dimensionado y elección de los componentes del sistema de Biomasa

Una vez entendidos los componentes y los distintos tipos de configuraciones que pueden llegar a tener las calderas de biomasa, se va a proceder al dimensionado y elección, uno por uno, de todos los componentes que han sido resaltados en negrita. Para todo este proceso, se seguirá la Guía Técnica de la Biomasa en edificios, realizado por el IDAE, y reconocido en el RITE.

A. La caldera de biomasa

El punto más importante y alrededor del cual girará todo el dimensionado será la caldera de pellets. El rango de potencia necesaria que deberá aportar la caldera de biomasa determinará su tamaño, su forma de aprovisionamiento, las necesidades de almacenaje y la forma más adecuada de trabajar. Es por esta razón por la que la caldera debe ser el primer elemento a dimensionar. Para llevar a cabo este dimensionamiento, de nuevo, tal y como ocurriría en el apartado de la aerotermia, el parámetro más importante a tener en cuenta será la máxima potencia útil que debe ser capaz de aportar la caldera durante los meses de invierno, teniendo en cuenta tanto las necesidades de la red de calefacción, como la de ACS. No obstante, en el caso de las calderas de biomasa y de este escenario en cuestión, hay que tener en cuenta dos aspectos extra a la hora de dimensionar.

El primero de ellos se trata del hecho de que en los meses de verano (y en los que trabaje la bomba de calor aire-aire en modo calor) la caldera solo tendría que abastecer la red de agua caliente sanitaria. En este sentido, habrá que tener cuidado con la potencia mínima de la caldera, dado que las calderas de biomasa no suelen trabajar muy bien a baja carga. No obstante, aunque esto hace pocos años era un problema, hoy en día ya hay calderas de biomasa que trabajan fácilmente en modo verano. Por esta razón, habrá que tener este criterio en cuenta a la hora de elegir la caldera, pero no será una condición crítica en el dimensionamiento.

El segundo aspecto es el hecho de que, en este escenario en concreto, la forma de trabajar de la instalación no está tan claro si será de forma instantánea o con inercia. La realidad es que la red actual de calefacción de la vivienda es un sistema instantáneo que no cuenta con depósito de inercia. Por tanto, habrá que tomar la decisión de cambiar el modo de funcionamiento de la red de calefacción o dejarlo tal y como está. Sin embargo, en el caso de la instalación de ACS ya se cuenta con un depósito interacumulador de ACS, que cuenta con una capacidad de 300 L (Ilustración 158). Aunque su correcto dimensionado y la decisión de mantenerlo o reemplazarlo se discutirá más adelante, lo que está claro es que la red de ACS contará con un interacumulador que estará dimensionado de manera correcta.

Por tanto, se puede concluir que el dimensionado a realizar es exactamente igual que en el primer escenario, pudiéndose realizar teniendo en cuenta únicamente las necesidades de la red de calefacción pues, de nuevo, el circuito de ACS se calentará en los momentos en los que la demanda no sea máxima. De este modo, se reutilizará el cálculo de las necesidades de potencia calorífica explicado en el primer escenario (capítulo 3.3.1.3.1) y en el apartado 8.3.3.1 del Anexo.

En dicho cálculo se concluía que las necesidades exactas de potencia calorífica a las que tendría que hacer frente la caldera de biomasa por motivo de la red de calefacción serían de **34,26 kW**. Es necesario recordar que esta potencia es la que deben ser capaces de entregar los emisores, por lo que no tiene en cuenta las posibles pérdidas que se produjeran a lo largo de la red. Esto implica que, si la decisión final es utilizar depósito de inercia, se podrá elegir una caldera de una potencia un poco menor a dicho resultado (entre **28 y 40 kW**, que es $\pm 20\%$, como en el caso de la bomba de calor), mientras que, si no se utiliza, la caldera deberá ser capaz de aportar una potencia bastante superior, pudiendo llegar incluso a los **50 kW**, que es la potencia que posee tiene la caldera actual.

En resumen, teniendo en cuenta todo lo comentado, hay dos opciones bien diferenciadas. Por un lado, está la opción de poner una caldera de mayor potencia que no incluya depósito de inercia y, por el otro, se puede poner una caldera de menor tamaño, pero que incluya un depósito capaz de guardar el calor generado en la combustión de la biomasa. A continuación, se va a desarrollar cada una y se va a elegir cuál es la alternativa más adecuada para la consecución de este trabajo.

➤ *Caldera de mayor potencia que no incluya depósito de inercia*

Esta opción realmente sería equivalente a sustituir directamente la caldera actual de gas, que tiene una potencia útil de entre 40,5 y 56,1 kW (consultar Anexo 8.2.1 de aparatos existentes). En definitiva, teniendo en cuenta que las necesidades máximas de calefacción sin contar pérdidas son de unos 35 kW según lo estipulado en el apartado anterior y que también es necesario abastecer la red de ACS, lo normal será contar con una caldera capaz de entregar más de 40 kW útiles, es decir, exactamente igual que la caldera de gas existente.

Entre los fabricantes de calderas más comunes en viviendas, como pueden ser Baxi o Ferroli, no hay calderas de biomasa para viviendas capaces de suministrar dicha potencia. Es por ello por lo que se ha tenido que acudir a proveedores menos frecuentes para la elección de la caldera. En este caso, una buena opción para este escenario sería la **caldera Automatik de la marca KalorStufe**, que es capaz de entregar entre **14,4 y 48 kW** nominales, mostrada en la Ilustración 29. Las características más importantes de esta caldera se incluyen en el Anexo 8.2.2.2, y su precio unitario sin contar con todos los accesorios necesarios es de **10.720,00 €**.



Ilustración 29. Caldera Automatik de 48 kW. (Fuente: KalorStufe)

Al ser una marca de origen italiano, una potencia máxima de 48 kW parece exactamente adecuada para las necesidades de la vivienda en los momentos más críticos. Entre las principales ventajas que presenta se encuentra el hecho de que posee Wi-Fi para ser controlada a distancia, lo cual aporta mucha comodidad; posee un funcionamiento en modo verano, lo que le permite trabajar a muy buenos rendimientos incluso a potencias bajas; es capaz de abastecer sobradamente la demanda en invierno con una eficiencia catalogada como A+ de más del 90%, lo cual es un valor muy alto para una caldera de pellets y; por último, posee una sonda lambda.

El principal problema que presenta esta caldera es el hecho de que la recarga de los pellets se debe realizar de forma manual, dado que el fabricante solo ofrece esa opción. Además, aunque esta caldera cumple con todas las demás necesidades y características a la perfección, el hecho de que vaya a haber una bomba de calor aire-aire en este escenario, hace que probablemente sea más interesante la opción de elegir una caldera de menos tamaño con depósito de inercia, la cual se va a explicar a continuación.

➤ *Caldera de potencia inferior que incluya un depósito de inercia*

Esta opción supone realizar un cambio un poco más grande en la instalación hidráulica actual, sobre todo en el circuito que une la caldera y el depósito (circuito caldera-depósito, Ilustración 147 del Anexo 8.1.4.1). La instalación actual impulsa el agua de la caldera, por un lado, al circuito de calefacción, gracias a una bomba circuladora y, por otro hacia el acumulador de ACS de 300 L gracias a otra bomba impulsora. Sin embargo, la instalación que se propone con esta opción supondría llevar todo el agua de la caldera hacia un único depósito, que sirviera a la vez de depósito de inercia para abastecer el circuito de calefacción, y de acumulador de ACS, para abastecer la red de ACS.

La principal ventaja que tiene esta disposición es el hecho de que, al poder acumular el calor gracias al depósito de inercia, se puede utilizar una caldera un poco más pequeña que en la opción anterior. Además, esta opción a largo plazo supone un ahorro de combustible bastante considerable, pues puede encenderse y apagarse en los momentos que más convenga, y no únicamente cuando se requiere. De esta manera, la caldera de pellets elegida para esta disposición, mostrada en la Ilustración 30, ha sido la **caldera de pellets Smart-PK 32 del fabricante Hargassner**, que entrega una potencia de entre **9,6 kW y 32 kW** nominales. Los datos más específicos de la caldera en cuestión se encuentran en el Anexo 8.2.2.2, y su precio unitario contando transporte e instalación, pero sin contar accesorios, ni depósito de inercia, sería de **8.883,64 €**.

Por un lado, el hecho de que sea un fabricante alemán implica que, aunque no llegue a los 40 kW que teóricamente serían necesarios en los momentos más críticos, sí que asegura una gran fiabilidad a potencias grandes. Además, con la inclusión del depósito de inercia, la potencia máxima de 32 kW es más que suficiente para los momentos de alta demanda. Por el otro lado, al ser una caldera de menor tamaño, también es capaz de dar una potencia mínima más pequeña para los meses de verano (9,6 kW). En ambos casos, la eficiencia conseguida es mayor al 95 %, lo cual es de lo más alto que se consigue a día de hoy en el mercado de las calderas de pellets.



Ilustración 30. Caldera de pellets Smart-PK 32 (Fuente: Hargassner)

Además de tener las características adecuadas de potencia para la instalación y unos rendimientos más altos que en la opción anterior, esta caldera también tiene un tamaño menor, tiene una interfaz tipo TOUCH de uso muy fácil y también tiene control lambda para adaptarse a diferentes tipos de combustibles. Y, por encima de todo, el fabricante (Hargassner) ofrece el diseño de una solución integral, incluyendo un silo automático, equipos de inercia, impulsión y acumulación, y el diseño de la chimenea necesaria para la expulsión de humos. El esquema propuesto se muestra en la Ilustración 31.

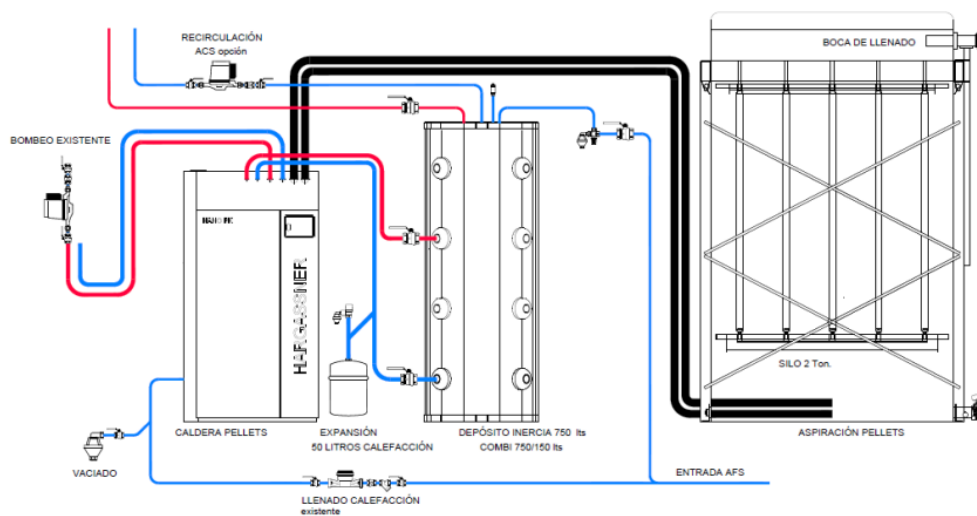


Ilustración 31. Esquema de la instalación de biomasa propuesta (Fuente: Hargassner)

De este modo, teniendo en cuenta que esta solución presenta un mayor ahorro de combustible y una mayor comodidad en el uso y diseño de la instalación, parece claro que esta es la opción ganadora. Tal y como se comentaba al principio de este apartado y como se puede apreciar en la Ilustración 31, al fin y al cabo, la solución ofrecida por la empresa Hargassner supone sustituir la caldera (con su propia forma de aprovisionamiento y desecho del combustible) y toda la red que une la caldera con ambos depósitos. El presupuesto total de este cambio resulta ser de **22.945,97 €** incluyendo el IVA. El presupuesto y sus detalles más concretos se incluyen de manera amplia en el Documento 2 de este trabajo.

A continuación, se van a explicar en detalle el diseño de todos los demás elementos que forman parte del sistema de biomasa, tanto los que han sido elegidos dentro de este presupuesto y que aparecen en la Ilustración 31 – incluyen los que tienen que ver con almacenamiento, transporte y desecho del combustible, los depósitos de inercia y acumulación ACS y algunos aparatos de impulsión –, como todos los demás elementos del sistema hidráulico que se quedan fuera – toda la red de tuberías de calefacción y ACS y la elección de los radiadores.

B. Aprovisionamiento, almacenamiento y desecho de los pellets: Camión cisterna, el silo y la chimenea

Este apartado incluye todos los elementos que tienen que ver con el aprovisionamiento, almacenamiento y desecho de los pellets que tienen los sistemas de biomasa. Todos estos componentes, los cuales se explicaban en el apartado 3.3.2.1.2, realmente han venido dados y se incluyen dentro del presupuesto realizado por la empresa Hargassner. Por esta razón, simplemente se comentará de manera breve las decisiones tomadas al respecto y si se corresponde con la normativa y las necesidades de la vivienda.

➤ *Aprovisionamiento por granel*

Tal y como se comentaba en el apartado de los componentes, los pellets se pueden comprar en bolsas de diferente peso, o se pueden pedir a granel, con camión cisterna. La opción de camión cisterna es, sin duda, la más cómoda, pues no hay que estar preocupado de comprar y transportar el combustible en todo momento. No obstante, no en todas las viviendas hay hueco para almacenar grandes cantidades de pellets (el camión cisterna únicamente viene a recargar una o dos veces por año). En la vivienda objeto de estudio hay espacio suficiente para almacenar los pellets, hay fácil acceso para el camión cisterna y, además, debido a que actualmente son personas mayores los que habitan la vivienda, las necesidades de comodidad en este sentido son imperantes. Es por esta razón por la era completamente fundamental encontrar una solución que permitiese recargar a granel, como es el caso de la opción elegida.

➤ *Silo textil GWT-MAX con sistema de alimentación neumática*

El hecho de aprovisionarse vía granel va de la mano con el hecho de tener un silo en el que almacenar los pellets. Su dimensionado depende de la demanda térmica que se deba cubrir (es decir de la caldera a la que se adhiere), del tipo de combustible (pellets en este caso), del espacio disponible y de la capacidad del camión que recarga el silo. Además, en el RITE se especifica que la capacidad de carga del silo debe ser capaz de cubrir una demanda de dos semanas a consumo máximo, o de cubrir una temporada normal de funcionamiento, o que tenga más capacidad que el camión cisterna que lo recarga. De este modo, el proceso seguido ha sido:

1. Según las facturas recogidas del año anterior en el apartado 2.1.2.2, se establecía que, aproximadamente, el consumo anual de gas natural era de 6.000 m³.

2. 6000 m³ de gas natural suponen unos 63.000 kWh, asumiendo un valor de medio de 10,5 kWh/m³, de acuerdo con el valor que aparece en las facturas, y que se puede consultar en el anexo 8.3.1 de este trabajo.
3. De acuerdo con las conclusiones obtenidas en el capítulo 2.2.3, sobre la ampliación de las conclusiones sobre el TFG, con el cambio de los radiadores y haciendo trabajar a la instalación de manera más eficiente, el ahorro máximo de energía que se podría conseguir en la instalación sería del 20%. Por tanto, con esta nueva configuración, se podría asumir un consumo anual de 50.000 kWh.
4. Según la Guía Técnica de la biomasa (IDAE, 09), el poder calorífico de los pellets se encuentra entre 4,7 y 5,3 kWh/kg, por lo que se asume un valor de 5 kWh/kg.
5. De este modo, se podría llegar a la conclusión de que, anualmente, la vivienda tendría un gasto de $50.000/5 = 10.000$ kg = 10 toneladas de pellets anuales.
6. Con el dato aproximado de un gasto de 10 t en pellets, lo normal es contar con un silo que únicamente haya que recargarlo 2 veces al año, y no más. Así, la capacidad ideal para el silo debe ser mayor de 5 t. En la Guía técnica de la biomasa se exponen algunos parámetros más aproximados para el cálculo del silo, pero este cálculo se ajusta más a la vivienda objeto de estudio.

Con todos estos parámetros en mente, el silo elegido ha sido el silo textil **GWT-MAX 160x200 de 5 toneladas** de capacidad, cuyo precio es de **3.615,93 €**. En la Ilustración 33 se muestra el silo elegido. En este caso se trata de un silo textil, lo cual significa que su montaje es rápido y sencillo y que su aprovechamiento del espacio es óptimo. De todas las especificaciones y variables que influyen en el dimensionado y elección del silo, las únicas que realmente han sido críticas en este caso ha sido el hecho de encontrar la ubicación. Aunque había espacio suficiente, el silo se va a tener que montar a unos 8 m de la caldera por necesidades estructurales, por lo que será necesario montar un buen sistema de aspiración de pellets desde el silo, hasta el depósito de almacenamiento de pellets de la propia caldera. Es lo que se denomina aspiración neumática. Este sistema de aspiración se representa mediante un doble tubo negro en la Ilustración 31.



Ilustración 32. Silo textil GWT-MAX 160x200 (Fuente; Hargassner)

➤ *Salida de humos*

Otro de los puntos clave en el proceso de tratado del combustible es la evacuación de los productos de combustión. Aunque la caldera de gas actual ya cuenta con salida de humos, las calderas de biomasa cuentan con requisitos especiales en su instalación. No obstante, estos requisitos a cumplir y el diseño de la salida de humos es más propio de la empresa instaladora en este caso. De este modo, Hargassner ha elegido una chimenea modular de doble pared aislada de acero inoxidable DP316L/304, con un diámetro nominal de 175 mm, que conectará la caldera elegida con el exterior cumpliendo todos los requisitos establecidos por el RITE y el CTE. Su precio unitario es de **922,33 €**.

C. El sistema hidráulico: El Depósito de Inercia y Acumulador ACS integrados, las bombas de impulsión, el circuito de tuberías y los radiadores.

Una vez elegida la caldera en sí y todos los elementos que tienen que ver con el aprovisionamiento, almacenamiento y desecho de los pellets, es momento de pasar a la elección y dimensionado de los elementos pertenecientes al sistema hidráulico. Dentro de este punto, todo lo referido al circuito que une la caldera y los depósitos (el antiguo circuito caldera-depósito, mostrado en la Ilustración 147 del Anexo 8.1.4.1) será reemplazado por completo y se encuentra dentro de la nueva propuesta realizada por Hargassner, mientras que la parte restante del sistema (tuberías, elementos terminales, algunas bombas, etc) se discutirá individualmente atendiendo a las consideraciones que ya se realizaron durante la realización del TFG.

➤ *Solución conjunta para los depósitos: Depósito Domusa DUO 750 /100 que incluye Depósito de Inercia e Interacumulador de ACS.*

Probablemente el factor más determinante en el funcionamiento correcto del circuito de agua caliente sea el elegir correctamente los equipos de acumulación. En este caso, el dimensionado llevado a cabo ha sido el siguiente.

- **Dimensionado del depósito de inercia:** Mientras que para el escenario de la aerotermia se dejaba en manos del instalador el volumen más adecuado para permitir que el compresor de la bomba de calor trabajara de forma cómoda, en las instalaciones de biomasa, al tener un rol mucho más importante en el ahorro, sí que hay unas pautas más claras sobre como dimensionarlos. Además, por norma general, se trata de depósitos de inercia de mayor tamaño, pues tienen que aguantar durante más tiempo con los equipos apagados. De este modo, según la Guía Técnica de la Biomasa reconocida por el RITE, el volumen recomendado oscila entre 20 y 30 L por cada kW (p.64). Así, teniendo en cuenta que la caldera cuenta con 32 kW de potencia pico, el depósito debería tener entre **640 y 960 L**. Cualquier depósito cuyo volumen se encuentre entre medias de ambos valores y que tenga en cuenta las consideraciones adicionales de los instaladores será válido para el desarrollo del escenario.

- Dimensionado del interacumulador ACS:** En este caso sí que se puede seguir exactamente el mismo procedimiento de dimensionado realizado en el escenario anterior (apartado 3.3.1.3.1) para el interacumulador de agua caliente sanitaria. Además, en este caso es todavía más sencillo, pues el agua acumulada en este sistema de biomasa sí que se puede suponer a una temperatura de 60 °C. Como recordatorio, en el anejo F del documento básico HE4 del CTE se expone que el consumo diario por persona de ACS para una temperatura de acumulación de 60 °C es de 28 litros (p.52). Entrando en la tabla a de dicho anejo, se llegaba a la conclusión de que, para una casa con más de 6 dormitorios, se debería asumir que la vivienda debe estar dimensionada para 7 personas. Por tanto, el volumen de acumulación deber ser de **196 L** como mínimo.

Ante este dimensionado, la realidad es que cualquier solución podría haber sido válida, inclusive la de mantener el actual interacumulador ACS de 300 L de capacidad. No obstante, una vez más, ya que se está pensando y planteando en el largo plazo, lo más sensato es cambiarlo. De este modo, la solución que propone Hargassner consiste en la incorporación de un depósito de inercia que incorpore dentro de sí el interacumulador de ACS. Al necesitar un depósito de inercia de gran tamaño en comparación con el tamaño del interacumulador, se trata de la solución más efectiva, eficiente y barata que puede haber, por lo que se trata de una opción definitiva.

El depósito elegido ha sido el **Depósito Domusa DUO 750/100** de acero inoxidable de la marca Domusa Technik, que consta de un depósito de inercia de **750 L** (valor comprendido entre los calculados) y un interacumulador de **190 L** (exactamente del valor calculado). Este sistema de doble envoltente permite reaprovechar gran parte del calor y conseguir un ahorro energético muy considerable. Su aspecto y el esquema concreto de funcionamiento de ambos depósitos se muestran en la Ilustración 33. El precio unitario del depósito es de **1.785,67 €**, y sus características más precisas se encuentran en el apartado 8.2.2.2 del Anexo.

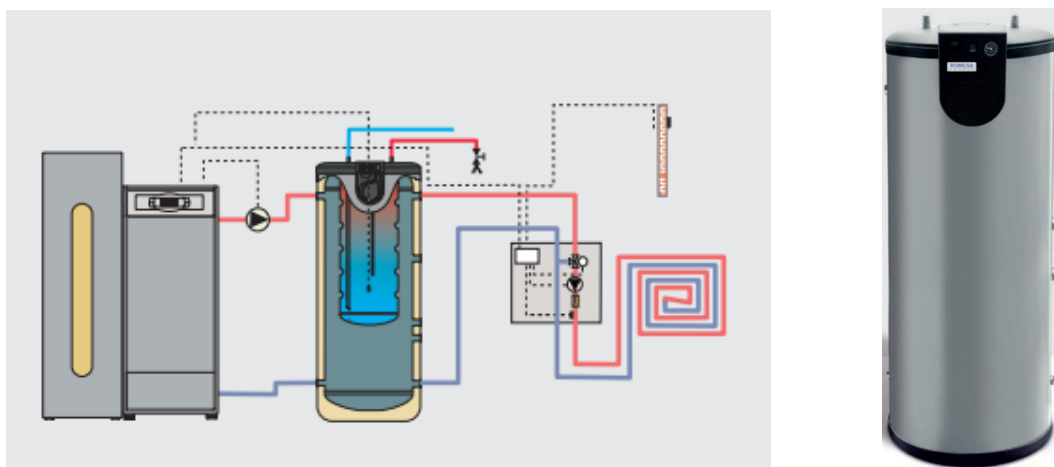


Ilustración 33. Depósito Domusa DUO 750/100 (Fuente: Domusa Technik)

➤ *Las bombas de impulsión*

Aunque durante la realización del TFM se dedicó un capítulo muy extenso al bombeo de la red de agua caliente, y los resultados y soluciones aportadas (resumidas en el apartado 2.2.2.2 de este trabajo) fueron muy satisfactorias, la realidad es que, al formar parte todo de una propuesta más compleja, hay algunas de las soluciones que deben ser sustituidas por las nuevas ofrecidas por la empresa Hargassner. A modo de resumen, básicamente, la instalación actual contaba con 3 bombas hidráulicas: Una para el circuito caldera-depósito, otra para el circuito de calefacción y otra para la recirculación de ACS. Tras el TFG, se decidió dejar la bomba encargada del circuito caldera-depósito tal y como estaba, se decidió sustituir la del circuito de calefacción por una más eficiente y en el circuito de ACS se decidió dejar la de recirculación y añadir una nueva bomba circuladora que incrementase la presión del circuito. El resumen de las medidas adoptadas en dicho trabajo se incluía en la Tabla 5.

La solución ofrecida por Hargassner incluye la introducción de un módulo hidráulico denominado **módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32** dentro de la caldera que incluye tanto la bomba de calefacción, como la de ACS, como la de llegar hasta el circuito de inercia. En definitiva, se trata de una solución que integra dentro de la caldera todos los grupos de presión necesarios para hacer funcionar al sistema de manera correcta.

Realmente, los datos de caudal y alturas concretos de las bombas que se encuentran dentro del módulo hidráulico se desconocen. Sin embargo, dado que estos módulos hidráulicos son directamente parte de las calderas a las que se adhieren, su dimensionado no es necesario, pues al haber elegido una caldera de Smart-PK de 32 kW, el módulo elegido debe ser el IHM Nano-PK de 32, que se muestra en la Ilustración 34. Por esta razón, se asume que el funcionamiento del circuito será óptimo sin necesidad de realizar los cálculos. El precio del módulo entero es de **1.098,63 €**, y sus características más se encuentran en el apartado 8.2.2.2 del Anexo.



Ilustración 34. Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32. (Fuente: Hargassner)

En conclusión, con la elección de esta alternativa, la única bomba de impulsión que seguiría siendo necesaria sería la bomba de recirculación del circuito de ACS (la Grundfos COMFORT 15-14 B PM). De este modo, todas las demás bombas que se dimensionaron durante el desarrollo del TFG dejarían de ser necesarias. Por tanto, el único desembolso en materia de impulsión que supondría este escenario serían los 1.098,63 € que cuesta el módulo hidráulico. Esto demuestra que la solución ofrecida por Hargassner es la mejor a nivel económico.

➤ *La red de tuberías y todos sus accesorios (circuitos de calefacción y ACS)*

Una vez elegida la caldera de biomasa adecuada para reemplazar la actual caldera de gas, los depósitos que almacenarán el calor y las bombas de impulsión que lo distribuirán alrededor de toda la red, toca poner el foco de atención en todo este circuito de calefacción y de ACS que alimentan los aparatos dimensionados. Forman parte de esta red, tanto las propias tuberías que distribuyen el agua, como todos los accesorios necesarios que aseguran el buen funcionamiento de la instalación. La configuración de esta red de tuberías ya se ha explicado en detalle, tanto en el capítulo segundo de este trabajo, como en el Anexo 8.1.4, donde se muestran esquemas y se realizan los cálculos correspondientes a los metros de tubería totales del sistema de agua caliente.

Dado que los cambios realizados en materia de biomasa solo afectan al circuito una caldera con el depósito – cuya longitud es mínima porque toda la maquinaria se encuentra en la misma sala –, es necesario decidir si merece la pena echar abajo la instalación entera para sustituirla por una completamente moderna. Tal y como ya se ha comentado en ocasiones anteriores, el entramado de tuberías de cobre que distribuye ambos circuitos se encuentra en un estado de degradación bastante considerable – prueba de ello es la Ilustración 141 que se encuentra en el apartado 8.1.3.1 del Anexo – provocando en algunos casos mala circulación del agua debido a fugas, acumulaciones y corrosión del material. Además, el cobre en mal estado en instalaciones de agua potable puede resultar llegar a ser tóxico.

La realidad es que, visto que se trata de un tema de degradación y materiales, esta decisión se dejó en manos de expertos en la materia. De este modo, se encargó un estudio de las tuberías a las dos empresas encargadas de realizar el presupuesto de la caldera de biomasa (Hargassner y KalorStufe). Tras una revisión por técnicos expertos en la materia por parte de ambas empresas y por separado, la conclusión obtenida fue que el entramado de tuberías se encontraba en un estado suficientemente bueno como para mantener la instalación tal y como estaba durante los próximos 20 años como mínimo. No obstante, se iba a requerir de una serie de retoques en algunos puntos un poco más críticos.

De este modo, se va a hacer caso de las recomendaciones de los expertos y la red de tuberías del circuito de calefacción y del de ACS se van a dejar tal y como está, salvo por pequeños cambios puntuales, los cuales ya se han tenido en cuenta en el presupuesto ofrecido por Hargassner. En dicho presupuesto, el cual se desglosa de manera más extensa en el Documento 2 de este trabajo, la empresa Hargassner prevé un gasto en tuberías y accesorios debido a reparaciones y sustituciones de tuberías de **1.693,13 €**. Hace falta resaltar que, dentro de esta cuantía, se incluyen también las tuberías que reemplazan las que formaban parte del pequeño circuito que unía la caldera con el depósito.

Por último, además de las propias tuberías, hay otros accesorios que son siempre necesarios en estos circuitos, pero que son más propios de la empresa instaladora. Entre estos accesorios, se encuentran los vasos de expansión, las placas de regulación (tanto del circuito de calefacción, como del de ACS), las válvulas, etc. Todos estos elementos también se valoran individualmente en el presupuesto incluido en el documento número 2, y su precio total asciende a **777,04 €**.

➤ *Los elementos terminales de la instalación: Los radiadores*

Una vez dimensionado y diseñado a medida todo el sistema de biomasa junto con su sistema hidráulico, el único punto de decisión que queda por definir son los elementos terminales de la instalación. En el caso de la instalación de ACS, los elementos terminales son grifos, duchas y bidés. Estos se han ido reemplazando a lo largo de la vida útil de la vivienda, por lo que no presentan un problema en el largo plazo. Sin embargo, en el caso de la instalación de calefacción, los elementos terminales son los radiadores (dado que se ha decidido que el suelo radiante no tenía sentido económicamente hablando). De este modo, dado que en el TFG se propuso el cambio íntegro de los actuales radiadores de hierro fundido, en este escenario dicha propuesta se va a mantener, al no haber ninguna variable que cambie con respecto al diseño que se realizó en aquel momento y el cual se resume a continuación.

Los radiadores de hierro fundido existentes en la vivienda, cuyas características se incluyen en el apartado 8.2.1 del Anexo de trabajo, ya fueron vistos para sentencia durante la realización del TFG, debido a su antigüedad y su falta de rendimiento. De este modo, se decidió que los nuevos radiadores del inmueble debían ser de aluminio, pues es el material que aporta mayores rendimientos y utilizando potencias más bajas. Por tanto, se eligieron los radiadores de aluminio Ferroli Europa C, los cuales se muestran en la Ilustración 35. La decisión por este modelo en concreto fue la capacidad que tenía de trabajar en instalaciones a temperaturas más bajas (aunque trabajen a temperatura media en este caso). Además, permitía cuatro tamaños de radiador diferentes (450 C, 600 C, 700 C y 800 C), con un máximo de 14 elementos por radiador. Las características precisas de los radiadores se encuentran en el capítulo 8.2.2.1.



Ilustración 35. Radiador de aluminio EUROPA C. (Fuente: Ferroli)

Una vez elegido el modelo concreto de radiador, el siguiente paso consistía en el dimensionamiento y cálculo del número exacto de radiadores necesarios. Este proceso de cálculo se llevó a cabo individualmente para cada estancia. Para cada una de las salas de la vivienda, se realizaba el cálculo de la necesidad calorífica según lo establecido en el capítulo 8.3.3.1 del Anexo. Teniendo la necesidad calculada, se entraba en las tablas del fabricante, mostradas en la Ilustración 167 del Anexo 8.2.2.1, y para un $\Delta T=40$ °C (que es como se pretendía que trabajase la instalación), se calculaba el número de elementos del modelo elegido en cada habitación. Todo este proceso de cálculo se llevó a cabo en formato de tabla habitación por habitación, comparando en todo momento con la instalación actual, y llevando una suma de la potencia total y del presupuesto necesario. Dicha tabla de dimensionamiento habitación por habitación se encuentra en la Tabla 71 del Anexo 8.3.2. Como resumen del dimensionamiento realizado y de los resultados obtenidos en cuestión de potencias, se adjunta la Tabla 12.

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE DIFERENTES ESCENARIOS PARA LA CLIMATIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Tabla 12. Resumen del cambio de los radiadores. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

SALA	INSTALACIÓN ACTUAL			RECAMBIO			DIFERENCIA	
	MODELO	ELEM.	POT. (W)	MODELO	ELEM.	POT. (W)	POT. (W)	AHORRO
RECIBIDOR	N61-4	16	1227,2	600 C	14	1248,8	21,6	-1,76%
C. ESTAR	N46-4	23	1357,0	700 C	13	1328,6	-28,4	2,09%
HAB. 1	N61-4	23	1764,1	700 C	13	1328,6	-435,5	24,7%
HAB. 2	N61-4	21	1610,7	600 C	14	1248,8	-361,9	22,47%
BAÑO 1	N61-4	12	920,4	600 C	7	624,4	-296,0	32,16%
BAÑO 2	N61-4	9	690,3	600 C	5	446,0	-244,3	35,39%
COCINA	N61-4	20	1534,0	800 C	14	1646,4	2,2	-0,05%
	N61-4	18	1380,6	600 C	14	1248,8		
	N61-4	16	1227,2	600 C	14	1248,8		
SALÓN	N95-4	11	1293,6	800 C	14	1646,4	932,6	-9,75%
	N95-4	9	1058,4	800 C	14	1646,4		
	N61-4	33	2531,1	800 C	14	1646,4		
	N61-4	27	2070,9	800 C	14	1646,4		
	N61-4	17	1303,9	600 C	14	1248,8		
	N61-4	17	1303,9	600 C	14	1248,8		
	-	-	-	800 C	12	1411,2		
PASILLO P1	N46-4	12	708	-	-	-	-708,0	100%

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE DIFERENTES ESCENARIOS PARA LA CLIMATIZACIÓN DE LA VIVIENDA

SALA	INSTALACIÓN ACTUAL			RECAMBIO			DIFERENCIA		
	MODELO	ELEM.	POT. (W)	MODELO	ELEM.	POT. (W)	POT. (W)	AHORRO	
HAB. 3	N80-4	16	1595,2	700 C	12	1226,4	857,6	-53,8%	
	-	-	-	700 C	12	1226,4			
BAÑO 3	-	-	-	700 C	7	715,4	715,4	-100%	
BAÑO 4	N46-4	8	472,0	700 C	7	715,4	243,4	-51,56%	
HAB. 4	N46-4	30	1770,0	450 C	13	872,3	-25,4	1,4%	
	-	-	-	450 C	13	872,3			
HAB. 5	N46-4	26	1534,0	600 C	13	1159,6	-374,4	24,41%	
HAB. 6	N80-4	20	1994,0	700 C	14	1430,8	-563,2	28,24%	
ESTUDIO	N95-4	24	2822,4	800 C	9	1058,4	-588,0	20,83%	
	-	-	-	800 C	10	1176,0			
HAB. 7	N46-4	36	2124,0	600 C	12	1070,4	106,0	-4,99%	
	-	-	-	600 C	13	1159,6			
BAÑO 5	N61-4	11	843,7	600 C	8	713,6	-130,1	15,42%	
PASILLO P2	N61-4	15	1150,5	-	-	-	-1150,5	100%	
			36287,1 W				34260,2 W	-2026,9 W	5,59%

En la Tabla 12 se muestran las diferencias de potencia habitación por habitación entre la instalación existente y la propuesta. Todas las conclusiones pertinentes a este dimensionamiento ya han sido recordadas en el capítulo 2.2.2.1, por lo que no es necesario volver a ahondar en el tema. Por tanto, la tabla sirve básicamente para resumir la compra que sería necesario realizar en caso de que este fuera el escenario elegido. No obstante, en el Documento 2 de este proyecto se muestra el presupuesto real de la compra, transporte e instalación de estos radiadores. La cifra total asciende a un total de 4.627,35 €. La factura real de los radiadores se muestra en la Ilustración 214. Este precio incluye IVA, gastos de transporte y descuentos obtenidos debido a la realización de la compra con un intermediario. No obstante, no incluye montaje, ni desmantelamiento de los radiadores, lo cual se estimó que fuera de 2.359,50 € durante el TFG, teniendo en cuenta horas trabajadas. Por tanto, el precio total sería de **6.986,85 €**.

3.3.2.1.4. Resumen de las medidas tomadas en el nuevo sistema de Biomasa

Básicamente, la solución adoptada ha sido la de reemplazar la caldera actual de gas por una caldera de biomasa, cambiando también los elementos terminales de la instalación, es decir, los radiadores. Por tanto, hay que recalcar que esta decisión solamente afecta al circuito de agua caliente de la vivienda. Las medidas adoptadas se pueden dividir en dos grupos:

- 1) **El sistema de biomasa:** Todos los cambios realizados en la instalación de biomasa se encuentran dentro del presupuesto realizado por la empresa Hargassner. La propuesta realizada únicamente afecta a la parte inicial del circuito de agua caliente, la cual se sustituirá por completo, pero dejando toda la red de tuberías de la vivienda intacta. Se trata por tanto de una obra muy sencilla en el que se reemplaza el cuarto de calderas por completo y únicamente algunos puntos de la red de tuberías que presentan excesiva corrosión. Dentro de este presupuesto se incluyen la nueva caldera, todo lo que tiene que ver con su combustible (aprovisionamiento, silo, transporte y chimenea), los nuevos depósitos de inercia y de ACS, equipos de impulsión y todas las tuberías y accesorios necesarios para montar la base de este circuito y sustituir las partes más afectadas del existente. El precio total de estas medidas es de 22.945,97 €, incluyendo el IVA y todos los gastos de transporte y puesta en marcha de la instalación. El presupuesto real se encuentra en la Ilustración 213 del Documento 2.
- 2) **Los radiadores:** El otro cambio importante de este escenario es el de los radiadores, el cual fue diseñado durante la realización del TFG. Es por esta razón por la que forma parte de un presupuesto diferente, realizado por una empresa diferente (MásCalor). El precio total es de 6.986,85 €.

En resumen, juntando ambos presupuestos y teniendo en cuenta todas las medidas, el coste del nuevo escenario de biomasa en conjunto con el cambio de los radiadores es de **27.573,32 €**. Los costes desglosados se pueden ver en la Tabla 92 del Documento 2 de este proyecto. El resumen de las medidas tomadas se adjunta en la Tabla 13.

Tabla 13. Resumen de los cambios en la instalación de biomasa. (Fuente: Elaboración propia)

1	Caldera de Pellets Hargassner Smart-PK 32	22.945,97 €
	Aprovisionamiento a Granel	
	Silo textil GWT-Max 160x200, 5 t	
	Chimenea modular doble pared aislada INOX DP316L/304	
	Depósito Domusa DUO 750/190	
	Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 32	
	Tuberías y Accesorios	
2	Radiadores Ferroli Europa C	6.986,85 €
		27.573,32 €

3.3.2.2. El circuito de aire. Aerotermia por conductos

Con el circuito de biomasa diseñado, las necesidades caloríficas de la vivienda quedarían completamente cubiertas. Por ello, ahora es momento de diseñar el sistema de refrigeración de este escenario, el cual será realizado por una bomba de calor de aire y un sistema de conductos que tendrá que ser construido de cero en la vivienda. Tal y como ya se ha venido diciendo, hoy en día, las bombas de calor aire-aire se hacen reversibles dado que, por muy poca diferencia en términos económicos, el sistema de aire acondicionado es capaz de aportar, tanto calor, como frío. Este hecho es clave para los meses templados del año, en los que la caldera puede estar trabajando menos horas. No obstante, este sistema aerotérmico se diseñará fundamentalmente para cubrir las necesidades frigoríficas de verano.

3.3.2.2.1. *Introducción, definición y componentes*

Sobre el funcionamiento de los sistemas convencionales de refrigeración basados en bombas de calor de aire, puede consultarse el apartado 3.1.2. En la Ilustración 11 de dicho apartado se explicaba en detalle el ciclo inverso de Rankine. Básicamente, consiste en un ciclo cerrado con gas refrigerante en el que hay una unidad exterior que se comporta como condensador, es decir, que expulsa aire caliente al exterior, y otra unidad interior que se comporta como evaporador, captando el aire caliente de la sala y convirtiéndolo en aire frío. Entre medias de ambos, hay un compresor y una válvula de expansión para cambiar la temperatura y presión del fluido refrigerante dentro del circuito.

Si las bombas de calor de aire utilizadas son capaces de revertir el ciclo del fluido refrigerante, haciendo trabajar a la unidad exterior como evaporador y a la interior como condensador (véase la Ilustración 14), entonces a parte de refrigerar, el sistema es capaz de calentar. Esto es precisamente un sistema de aerotermia, exactamente igual al explicado en el primer escenario. Ahora bien, tal y como se viene comentando, la clave principal de este escenario es que la aerotermia no se combinará con un circuito de agua, sino con otro circuito de aire. Además, su función principal será únicamente la de enfriar.

El hecho de que el fluido utilizado para refrigerar y calentar el ambiente sea el aire hace sea necesaria la construcción de un sistema de conductos y rejillas en la vivienda encargadas de distribuir el aire por el inmueble. El sistema de aire es mucho más sencillo que el de agua, pues a diferencia de los circuitos de agua, en los que es necesario disponer de depósitos, bombas hidráulicas, válvulas, emisores específicos (suelo radiante, radiadores, grifos, etc.) y una gran cantidad de metros de tubería de cobre, en los sistemas con aire, al contar con más de una unidad interior que se sitúan en distintas partes de la vivienda, únicamente se necesita de conductos, rejillas y filtros colocados en un falso techo. Todos los componentes que se han explicado se muestran en la Ilustración 36.

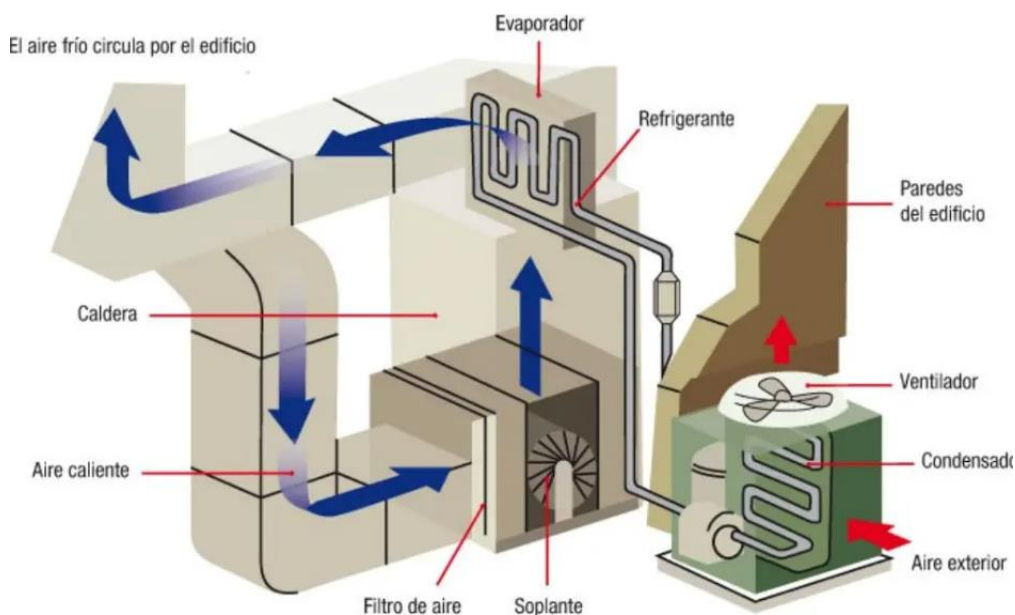


Ilustración 36. Esquema de una instalación de aire acondicionado. (Fuente: comofuncionaque)

3.3.2.2.2. *Ventajas y desventajas de la tecnología aire-aire*

Al igual que en los escenarios previos, el aire acondicionado por conductos tiene sus propias ventajas e inconvenientes que lo diferencian. En este punto se va a hacer hincapié, sobre todo, en el hecho de realizar la refrigeración de la vivienda por medio de aire, pues sobre las pros y contras intrínsecos a los sistemas aerotérmicos ya se habló largo y tendido en el apartado 3.3.1.2.

A. Ventajas de la tecnología aire-aire

- **Centralización:** El hecho de que la distribución del aire dentro de la vivienda sea realizada por conductos desde una o varias unidades interiores (en función del tamaño de la vivienda), permite climatizar varias estancias a un coste mucho más bajo que si se realizara tipo split. Además, este hecho no significa que no se pueda controlar individualmente la temperatura de cada estancia.

- **Estética:** Estéticamente hablando, la distribución del aire por conductos y rejillas en vez de realizarlo por unidades split, presenta grandes ventajas, pues no infiere de ninguna manera en el diseño del hogar. Esto es posible gracias a la colocación de un falso techo y la colocación de las unidades interiores y de los conductos dentro de ese falso techo.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento de los sistemas por conductos es más fácil que los sistemas split dado que cuenta con menos unidades, e infinitamente más fácil que los sistemas de agua. Al ser conductos más grandes y accesibles, es mucho más fácil llevar a cabo el proceso de mantenimiento que cuenta con tres pasos: Revisión ocular por parte de un experto, limpieza de los conductos (mediante aspiración, aire a presión o aire a presión con cepillado) y limpieza de las rejillas por el propio usuario.
- **Ruido:** Dado que el transporte del aire se realiza a través de un falso techo con buenos aislamientos acústicos y las unidades interiores se suelen colocar en estancias de la vivienda que no molesten, los sistemas de aire llegan a ser bastante más silenciosos que los sistemas de agua.
- **Ventajas intrínsecas de los sistemas de aerotermia:** Aunque se han dejado para el final porque ya fueron explicadas, el hecho de que se trate de una bomba de calor reversible (independientemente de si la distribución luego es por agua o por aire) es la ventaja más grande. Las ventajas principales que aporta la aerotermia son el hecho de que se trata de una solución limpia, renovable y consolidada que aporta unos rendimientos impecables; el hecho de que es capaz de revertir el ciclo y aportar también algo de calor en invierno; el hecho de que existen subvenciones para llevar a cabo una rápida amortización de la inversión, y el hecho de que el espacio ocupado por los aparatos es muy pequeño y su instalación es sencilla.

B. Inconvenientes de la tecnología aire-aire

- **Elevada inversión inicial:** El hecho de que no haya una preinstalación de conductos en la vivienda hace que la inversión inicial en este sistema de refrigeración vaya a ser elevada, dado que aparte de la inversión en equipos, conductos y rejillas (que no es barato), hay que realizar el falso techo en toda la vivienda.
- **Mayor consumo de electricidad:** El combustible utilizado en las bombas de calor es la electricidad, que es la fuente de energía más costosa que existe. Por ello, instalar aerotermia, generalmente supone aumentar la potencia contratada en el suministro eléctrico. Además, contando con que anteriormente no se disponía de aire acondicionado en la vivienda, el gasto en electricidad va a aumentar todavía más. No obstante, si se instalan paneles solares fotovoltaicos en la vivienda, el hecho de utilizar electricidad se convertiría en una ventaja.

- **Instalación compleja en viviendas ya construidas:** El hecho de tener que construir y diseñar de cero el sistema de aire acondicionado supone un proceso de obras largo, laborioso y caro.
- **No recomendable para zonas climáticas frías:** Si bien las instalaciones de aerotermia se caracterizan por tener altos rendimientos, estos decrecen de manera considerable cuando las zonas climáticas son frías. Por ello, aunque Madrid no es una zona climática fría en sí, durante los meses más fríos del invierno hay que considerar el hecho de que la bomba aerotérmica estará consumiendo mucha electricidad y a un rendimiento mucho menor. Es por esta razón por la que este escenario se tiene que combinar con un sistema de biomasa para poder calentar correctamente la vivienda. Es decir, que la ventaja de poder revertir el ciclo queda un poco emborronada por este hecho.

3.3.2.2.3. *Diseño del escenario*

A diferencia de lo que pasaba en el apartado de la biomasa, en el que únicamente se necesitaba cambiar una parte de la instalación de calefacción por otra, en esta segunda parte del escenario se está buscando una solución integral para todo el sistema de refrigeración. De este modo, de nuevo, al igual que ocurría en el primer escenario, bastará con fijar algunos de los parámetros más importantes que sean de obligatorio cumplimiento, para que diferentes empresas instaladoras expertas en el tema puedan hacer sus propuestas una vez visitada la vivienda. De este modo, en primer lugar, se fijarán estos parámetros y, en segundo, se elegirá el presupuesto que más se ajuste a los parámetros acordados, siempre dentro de unos límites económicos.

A. Dimensionado de los parámetros más importantes

Un aspecto a tener en cuenta con respecto a los apartados anteriores, es que en este caso, aunque la bomba de calor podrá calefactar, se va a dimensionar teniendo en cuenta únicamente las necesidades de refrigeración. Aunque se dan resultados muy parecidos por un método y por otro, la realidad es que la precisión necesaria en el dimensionado de la refrigeración no es tan grande como la que hay que tener para calefacción. Tener unas condiciones adecuadas de confort en invierno es completamente fundamental. Sin embargo, en términos de refrescar las viviendas en los meses más calurosos, la gente suele tirar más hacia el ahorro. De hecho, sin ir más lejos, en la vivienda objeto de estudio nunca se ha llegado a proponer la instalación de un aire acondicionado.

Por esta razón, los dimensionamientos que se van a realizar van a venir dados por simplificaciones y reglas de uso que tienen los expertos en la materia. Esto no quiere decir que se vaya a dejar de un lado la normativa, pues todos los cálculos son simplificaciones, tanto del RITE, como del CTE. De este modo, tal y como se ha visto en el apartado anterior, son básicamente tres los elementos que componen los sistemas de aire acondicionado; la bomba de calor (a su vez dividida en unidad interior y exterior), los conductos de ventilación y las rejillas. En cada uno de ellos es necesario fijar una serie de parámetros clave para poder ser crítico con la posterior elección del presupuesto.

➤ *La bomba de calor*

El parámetro más importante a la hora de dimensionar la bomba de calor en cuestión es la potencia frigorífica (en kW o frigorías) máxima que debe ser capaz de aportar en los meses más calurosos del año. Tal y como dicta el RITE y el CTE, para realizar dicho cálculo, hay que tener en cuenta tanto las cargas sensibles, como las cargas latentes. De este modo, al igual que se hacía en el cálculo de la potencia necesaria de calefacción por habitación (véase Anexo 8.3.3.1), habría que tener en cuenta, aparte de la ubicación geográfica de la vivienda, para cada habitación, su superficie, su grado de aislamiento y número de salidas de aire por ventanas y puertas, su orientación, su grado de ocupación, la presencia de equipos electrónicos y la humedad de la sala (recuperado de la asignatura de Instalaciones Industriales cursada en 2022).

Sin embargo, tal y como se ha venido explicando, el hecho de que sea una vivienda en la que el objetivo es refrescar de vez en cuando más que poder mantener la casas a una temperatura constante, y el hecho de que el dimensionado aquí proporcionado únicamente pretende servir como referencia, se va a realizar una pequeña aproximación a la solución que consta de los siguientes pasos:

- 1) **Aproximación de la potencia media necesaria por m² de superficie.** Según distintas aproximaciones a la solución ofrecidas por diferentes portales de expertos en la materia (véanse los blogs Gasfríocalor, Preciogas, Ocu o Caloryfrio), un buen estimador, de media, podría ser que la bomba de calor elegida debería ser capaz de aportar unos 100 W/m². Realmente este dato presenta bastantes fluctuaciones, pues en los lugares más cálidos estos valores podrían llegar a los 150 W/m², mientras que en los más fríos ser de 50 W/m².
- 2) **Distinción entre distintas zonas de la vivienda.** Teniendo en cuenta que las bombas de calor no son como las calderas, en donde una sola abastece a toda la vivienda, en este caso sí que se puede y, de hecho, es más recomendable, el hecho de contar con distintas unidades dispuestas en diferentes zonas de la vivienda, para que el sistema sea lo óptimo posible. De este modo, queda claro de primeras que, para la primera planta será necesario una bomba de calor y para la segunda será necesario otra distinta. Esto es así ya que los conductos de ambas plantas es mejor que sean independientes. Además, teniendo en cuenta la presencia del tejado de pizarra, las necesidades frigoríficas en verano son más grandes en la planta de arriba que en la planta de abajo.
- 3) **Dimensionado de la bomba necesaria en la primera planta.** Teniendo en cuenta que Madrid, de media, no es un sitio de clima cálido salvo por los meses de junio, julio y agosto, se puede asumir por datos comparables con otros proyectos realizados en casas de la zona (tras mantener conversaciones con vecinos de Montepíncipe sobre las potencias de sus aires acondicionados), que la parte de abajo podría ser cubierta por cualquier bomba de calor que diese un rango de entre 70 y 100 W/m². Teniendo en cuenta las dimensiones de la vivienda que se mostraban en la Tabla 10, la planta baja cuenta con una superficie total de 229 m². De este modo, la potencia frigorífica que debería aportar la unidad para la primera planta debería estar entre **16 y 23 kW** totales. Otro aspecto a tener en cuenta dentro de la primera planta es que, debido a sus grandes dimensiones, es posible que sea necesario contar con más de una unidad interior que conecte con la unidad exterior. No obstante, esto será decisión de la empresa instaladora.

- 4) Dimensionado de la bomba necesaria en la segunda planta.** Para la segunda planta será necesario contar con una bomba de calor distinta (tanto unidad interior como unidad exterior). En este caso, en la vivienda objeto de estudio, el hecho de que el tejado sea negro, hace que la temperatura en la planta de arriba sea mucho más acusada que en la de abajo. De este modo, sí que deberían considerarse potencias de climas cálidos de entre 100 y 120 W/m² de media. Así, teniendo en cuenta que la superficie de la segunda planta es de 151 m², la bomba de calor debe ser capaz de aportar entre **15 y 18 kW**. En este caso, es muy probable que sea suficiente con un único aparato.

➤ *Los conductos*

Los conductos utilizados en las instalaciones de aire acondicionado nada tienen que ver con las tuberías utilizadas en los circuitos de agua. En este caso, los conductos siempre tienen forma cuadrada o rectangular y tienen su propia normativa regulada por el RITE. De hecho, los tipos de conductos están estandarizados y cada uno posee su propia norma. En primer lugar, los conductos metálicos se hacen con planchas de aluminio, cobre o distintos tipos de acero y poseen aislante de lana de vidrio. Los no metálicos están hechos directamente de lana de vidrio y recubiertos con aluminio reforzado en su exterior y con vidrio en su interior. Por último, los conductos flexibles que están hechos de poliéster y solo se utilizan para unir los conductos principales con las rejillas de salida (Martínez, 2023). El material elegido para el conducto viene dado por distintas valoraciones del edificio en función de su riesgo de incendio, su estanqueidad y las condiciones de presión y velocidad. De este modo, es función de la propia empresa instaladora elegir el material y las características del conducto tras realizar el correspondiente análisis del edificio.

Las dimensiones de los conductos vendrán dadas por los caudales máximos que aporte la bomba de calor y por la disposición de estos en la vivienda. De este modo, los conductos principales, por los que circula el 100 % de caudal, tendrán que ser más grandes que las últimas ramificaciones que van a las habitaciones. De hecho, es muy probable que los conductos de la primera y segunda planta tengan diferentes dimensiones debido a que las bombas utilizadas serán diferentes. Así pues, de nuevo, será función de la empresa instaladora el elegir las dimensiones de los conductos en función del caudal de las bombas de calor elegidas y la disposición de estas en la vivienda.

➤ *Las rejillas*

Las rejillas son los emisores finales por los que sale el aire en las habitaciones finales. En la Ilustración 37 se muestra el aspecto de diferentes tipos de rejillas posibles en la instalación de la vivienda. La imagen se ha insertado precisamente para mostrar el hecho de que las posibilidades son infinitas a la hora de elegir el tamaño y la configuración de las rejillas. Lo que sí es un denominador común es que, tanto su configuración como, sobre todo, su tamaño, viene dado por la cantidad de caudal que debe ser impulsado a través de esta.

De esta manera, en materia de rejillas hay dos opciones bien diferenciadas. Por un lado, se puede elegir un tamaño de rejilla pequeño y estándar para toda la vivienda que sea denominador común para todas las salas (Q_{total}/Q_{min}) y añadir más o menos rejillas en cada sala en función de las necesidades. Por el otro lado, también está la opción,

probablemente más lógica, de elegir distintos tamaños de rejillas en función de las necesidades de cada sala. Claro que hay ciertas estancias (como el salón, por ejemplo) en el que igualmente son necesarias más de una rejilla. De nuevo, esta decisión será de la empresa instaladora y se realizará en función de la potencia y caudal de la bomba.



Ilustración 37. Rejillas de aire acondicionado. (Fuente: Bropro)

Probablemente, el único y más importante requisito en materia de rejillas sea el hecho de que estas estén motorizadas. Dado que los sistemas de aire acondicionado por conductos están centralizados, no es posible el hecho de regular individualmente la temperatura de cada sala de no ser que las rejillas estén motorizadas. Es por esta razón por la que la solución ofrecida por cualquier empresa deberá tener este requisito pues, aunque suba un poco el presupuesto, presenta opciones de ahorro muy importantes para su uso en el futuro.

B. Elección del presupuesto común

Ante las condiciones de dimensionamiento impuestas en el apartado anterior, tras recibir varias visitas y presupuestos de diferentes empresas, de nuevo la opción que mejor encajaba con las características de la vivienda y que, a la vez resultaba más económica, es la solución ofrecida por la empresa Ecopel. La empresa propone la inclusión de dos bombas de calor del mismo modelo, aunque de distinto tamaño para cada una de las dos plantas de la vivienda. Los modelos elegidos son de la **serie Admira** con gas refrigerante R32 y de la marca **HTW** (HTW-D-090ADMR32 y HTW-D-140ADMR32). Las características más concretas del modelo de la bomba se encuentran en el Anexo 8.2.2.2. A continuación, en la Ilustración 38 se muestra una imagen de las unidades interior (izquierda) y exterior (derecha) de la bomba de calor elegida.



Ilustración 38. Unidades interior y exterior de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)

Para la primera planta, la decisión tomada ha sido la de poner una única unidad exterior en conjunción con dos unidades interiores del modelo HTW-D-090ADMR32. De este modo, cada una de las unidades interiores es capaz de aportar 8,79 kW de frío y 9,38 kW de calor. Sumando ambas, se consigue una potencia frigorífica total de **17,58 kW** (dentro de los límites dimensionados de 16 a 23 kW) y una potencia calorífica de 18,76 kW. La decisión de poner dos unidades viene dada porque, de esta manera, la distribución de los conductos y del aire acondicionado por la vivienda es óptima. Así, la decisión más lógica es poner cada una de las unidades interiores en puntas opuestas de la primera planta, en aquellos lugares en los que el ruido no sea una molestia. Así, se ha decidido que las ubicaciones sean las mostradas en la Ilustración 39.

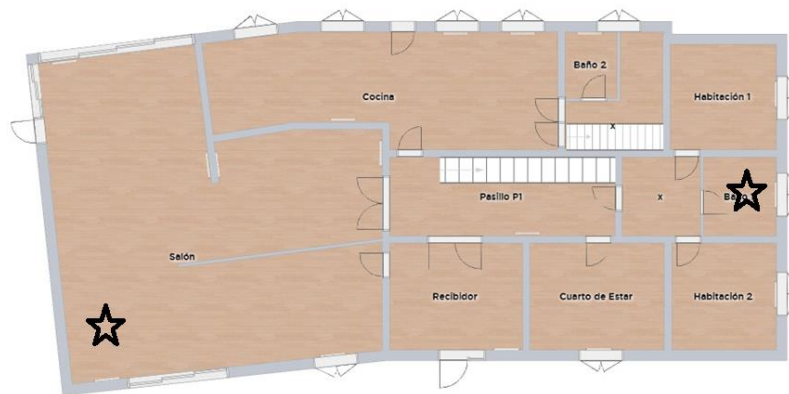


Ilustración 39. Ubicaciones exactas de las unidades interiores de la bomba de calor en la primera planta. (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la segunda planta, la decisión ha sido la de elegir una potencia muy parecida a la primera planta, dado que, aunque haya menos superficie, las necesidades son mayores. No obstante, dado que con una única unidad interior se es capaz de optimizar el sistema de conductos, se ha elegido poner una única unidad interior (lo más céntrica posible) y otra exterior de mayor potencia que en el caso de la primera. Así, el modelo elegido ha sido el HTW-D-140ADMR32, capaz de aportar **14,07 kW** de frío y 16.12 kW de calor.

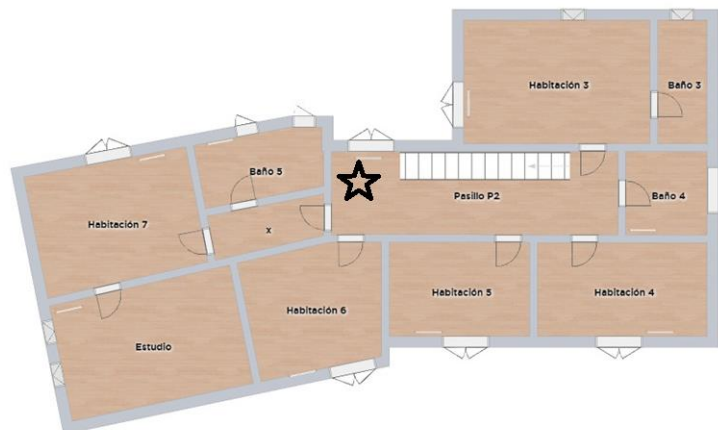


Ilustración 40. Ubicaciones exactas de las unidades interiores de la bomba de calor en la segunda planta. (Fuente: Elaboración propia)

Las características de la bomba elegida son ideales para la vivienda, pues aparte de lograr proporcionar la potencia frigorífica necesaria sobradamente, también es capaz de revertir el ciclo y aportar un buen grado de calefacción. Además, cuenta con etiqueta A++ de eficiencia, con un SEER mayor a 6 en ambos modelos. Aparte de todo esto, cuenta con todo tipo de comodidades en cuestión de control, dado que posee WIFI integrado e incluso control por voz. En cuanto a los caudales, son de 2.100 m³/h para cada una de las unidades interiores de la planta baja, y de 2.400 m³/h para las de la segunda planta. Con este dato, se ha llegado a la conclusión de que son necesarios 125 m de conductos y 69 rejillas de diferentes tipos distribuidas a lo largo de las habitaciones.

El presupuesto final incluye todos los metros de conducto, rejillas motorizadas, soportes e incluso mano de obra. Este se incluye íntegro en Anexo del Documento 2 de este proyecto. Lo único que no se incluye dentro del presupuesto es la construcción del falso techo para poder llevar a cabo la construcción de los conductos (el gasto de este se estima en el apartado presupuestario). No obstante, se ha comprobado que la altura de la vivienda es más que suficiente para llevar a cabo su construcción. El resumen de las medidas tomadas en materia de aerotermia por conductos se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Resumen de los cambios en la instalación de aire acondicionado por conductos.
(Fuente: Elaboración propia)

3	2x Bomba de calor HTW-D-090ADMR32 de 8,79/9,38 kW	35.875,29 €
	1x Bomba de calor HTW-D-140ADMR32 de 14,07/16,12 kW	
	Soportes y otros accesorios	
	Metros de conductos	
	Rejillas	
	Mano de obra por parte de la empresa	
	Extra de construcción del falso techo	
		35.875,29 €

3.3.2.3. Resumen final del escenario

Una vez acabadas las dos partes bien diferenciadas de este segundo escenario, es momento de unir y resumir las medidas en el apartado de la biomasa (3.3.2.1.4) con las medidas adoptadas en cuestión de aire acondicionado, es decir, de juntar la Tabla 13 y la Tabla 14. El resumen de las medidas se muestra en la Tabla 15, los cuales suponen un desembolso total, incluyendo IVA y todos los gastos correspondientes, de **65,808,11 €**. Aunque todavía no sea momento de sacar comparaciones ni hablar de conclusiones, la realidad es que se trata de un escenario muy polivalente en el que incluso, llegado el caso, podría adoptarse únicamente una de las dos partes del escenario.

Tabla 15. Resumen de los cambios en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

1	Caldera de Pellets Hargassner Smart-PK 32	22.945,97 €
	Aprovisionamiento a Granel	
	Silo textil GWT-Max 160x200, 5 t	
	Chimenea modular doble pared aislada INOX DP316L/304	
	Depósito Domusa DUO 750/190	
	Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 32	
	Tuberías y Accesorios	
2	Radiadores Ferroli Europa C	6.986,85 €
3	2x Bomba de calor HTW-D-090ADMR32 de 8,79/9,38 kW	35.875,29 €
	1x Bomba de calor HTW-D-140ADMR32 de 14,07/16,12 kW	
	Soportes y otros accesorios	
	Metros de conductos	
	Rejillas	
	Mano de obra por parte de la empresa	
	Extra de construcción del falso techo	
		65.808,11 €

3.3.3. ESCENARIO III: GEOTERMIA CON CIRCUITO DE AGUA

El hecho de que este escenario se haya dejado para el final no es fruto de la casualidad. Al fin y al cabo, este es el escenario que más dudas presentaba desde un primero momento dado que, mientras que en los dos primeros escenarios se sabía desde un principio la configuración exacta, en este no está muy claro si merece la pena combinar la geotermia con suelo radiante o con radiadores. Este hecho va a hacer que el esquema seguido para este escenario vaya a ser un poco diferente. De este modo, primero se introducirá la geotermia y sus principales características y tipos, para posteriormente poder tomar la decisión de sus componentes en conjunción con lo que ya se sabe de los escenarios anteriores. Una vez sabidos exactamente los componentes del escenario, se podrá proceder al dimensionamiento y elección de todos los equipos, lo cual se realizará de manera breve, pues la mayoría no presentan diferencias significativas con los dos primeros escenarios.

3.3.3.1. Introducción a la geotermia

Tal y como se comentaba en la parte introductoria de este capítulo, la geotermia se encuentra dentro de los sistemas frío-calor dado que, al fin y al cabo, también es una bomba de calor cuyo funcionamiento se basa en el mismo principio que la aerotermia. Se trata, por tanto, de un ciclo de Rankine inverso con gas refrigerante que es capaz de invertir las veces del condensador y el evaporados según las necesidades. La principal diferencia es que, mientras en la aerotermia la energía se extrae del propio aire, en los sistemas geotérmicos se utiliza el subsuelo para calentar o enfriar el fluido refrigerante. Además, los circuitos de geotermia siempre ceden la energía que captan (en forma de calor o frío) al agua. Por tanto, se utilizan siempre con circuitos de agua. En la Ilustración 41 se muestra el principio de funcionamiento de la geotermia y como cambia su rol entre verano e invierno.

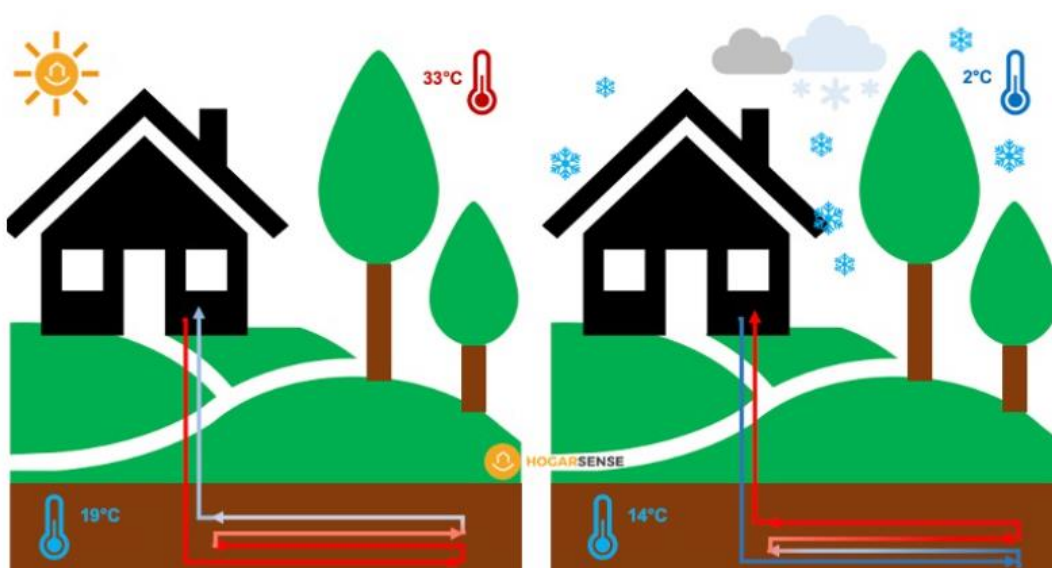


Ilustración 41. Geotermia en verano (izquierda) y en invierno (derecha). (Fuente: Hogarsense)

Por un lado, la clave de las instalaciones geotérmicas es que, al captar la energía del suelo, la captación de energía es mucho más constante que en los sistemas de aerotermia, en los que esta depende mucho de la hora del día y de la temperatura exterior. Esto da lugar a eficiencias bastante más grandes y, por tanto, un menor consumo y un mayor ahorro. Además, sus requerimientos de mantenimiento son bastante menores a los de la aerotermia, pues no es necesario ir cambiando filtros o estar preocupado por las temperaturas de congelación.

Por el otro lado, no obstante, no todas las viviendas son elegibles para contar con geotermia, pues se requiere de espacio para montar la instalación. Además, el hecho de tener que excavar y utilizar tanta maquinaria, provoca que la inversión necesaria para los sistemas geotérmicos sea más grande. Es por ello por lo que no es tan obvio cuál de ellas es mejor opción para el largo plazo. Otro hecho a tener en cuenta es el hecho de que la geotermia todavía no tiene tanta penetración en nuestra sociedad. Aun así, existen subvenciones por parte del estado y las inversiones tienden cada vez a ser menores a medida que transcurre el tiempo.

Por último, cabe resaltar que no todos los terrenos son los más aptos para instalar la geotermia, pues es necesario realizar estudios geológicos del terreno para ver su estabilidad y los rendimientos. La realidad es que España es un país con mucho potencial de aprovechamiento geotérmico (Carbonell, 23). El Instituto Geológico y Minero de España elaboró un mapa en el que se indicaban tres tipos de zonas geológicas en los que la geotermia era viable: Baja, alta y media temperatura de geotermia. Tal y como se puede apreciar en la Ilustración 42, la zona de la Comunidad de Madrid tiene buen potencial para la explotación geotérmica.



Ilustración 42. Áreas geotérmicas en España. (Fuente: Instituto Geológico y Minero de España)

3.3.3.2. Tipos de instalaciones geotérmicas

La forma en la que las bombas de calor geotérmicas captan la energía del suelo depende de las características del terreno y del espacio disponible. De este modo, según su captación, se distinguen dos tipos principales de geotermia (Gutiérrez, 21). En la Ilustración 43 se muestran las principales diferencias.

- **Captación geotérmica horizontal.** Este es el formato más habitual en parcelas con metros cuadrados suficientes. Los colectores de captación del calor/frío del suelo se distribuyen por toda la superficie de la parcela a poca profundidad (~1,5 m). Dado que la captación se realiza cerca de la superficie, es posible que en este caso la temperatura exterior pueda afectar a la eficiencia del proceso.
- **Captación geotérmica vertical.** Cuando la superficie de la parcela es insuficiente, el intercambio de calor se realiza de forma vertical. Se pueden distinguir dos procesos diferentes dentro de este método de captación.
 - **Con sondas o pozos.** Se realizan perforaciones de diámetros de entre 10 y 15 cm para las sondas, con una profundidad que oscila entre 25 y los 150 m. Para realizar esta obra se necesita de más maquinaria y el proceso es más complejo, no obstante, a mayor profundidad, mayor estabilidad de las temperaturas de intercambio y, por tanto, mejores rendimientos.
 - **Con pilotes.** Esta configuración solo es posible cuando la instalación geotérmica ha sido pensada antes de llevar a cabo la edificación de la vivienda. Por tanto, esto no es una opción en el inmueble objeto de estudio. Básicamente consiste en poner las sondas de intercambio alrededor de los pilotes de la estructura.

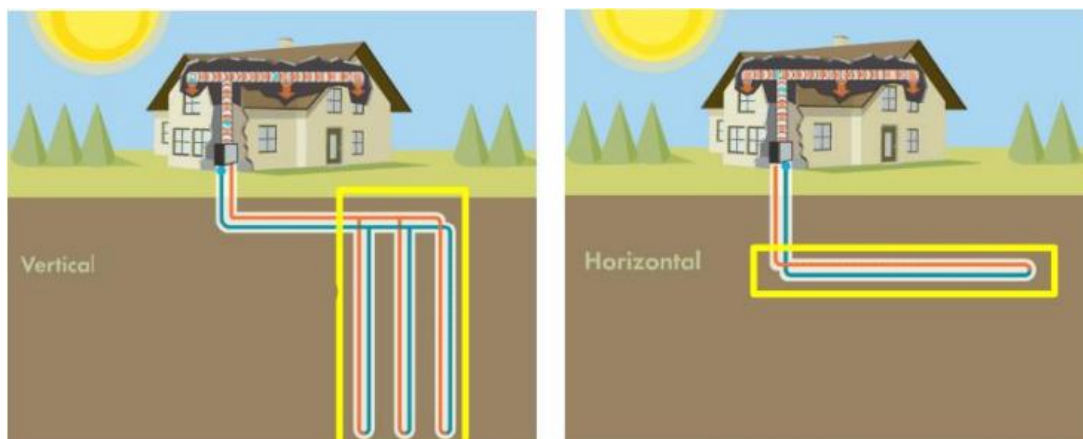


Ilustración 43. Geotermia vertical y horizontal. (Fuente: Gutiérrez, 21)

3.3.3.3. Componentes finales del escenario. Radiadores vs suelo radiante.

Independientemente de si el sistema está trabajando en modo invierno o modo verano, la instalación de geotermia tiene el esquema de la Ilustración 44. En realidad, no hace falta incidir de nuevo en todos los componentes del sistema, pues la única diferencia con esquema de aerotermia mostrado en la Ilustración 19 es la unidad “exterior” de la bomba de calor, que realmente es la perforación del suelo. Esta trabaja como condensador en los meses de verano y como evaporador en los meses de invierno. Por lo demás, desde la unidad interior hasta todos los componentes del sistema de calefacción/refrigeración y de la instalación de ACS, todos los componentes son exactamente los mismos que en el sistema mostrado en el primer escenario.

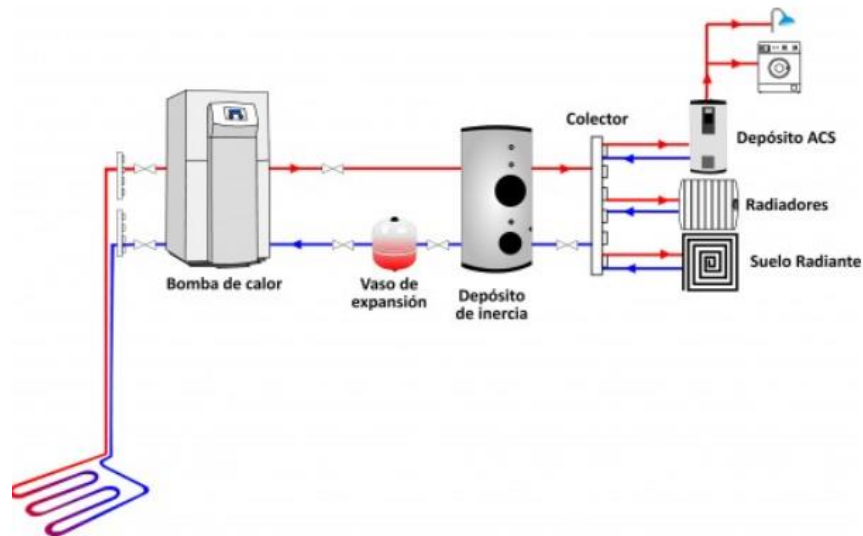


Ilustración 44. Esquema de una instalación de geotermia. (Fuente: BioEnercan)

En la Ilustración 44 se muestra el detalle de que la geotermia puede combinarse tanto con radiadores (tanto de alta como de baja temperatura), como con el suelo radiante. Al fin y al cabo, la geotermia presenta mejores rendimientos que la aerotermia dado que, al ser más estables las temperaturas de captación, la energía que se extrae del suelo es bastante constante y no depende de la hora del día. De este modo, mientras que en las instalaciones de aerotermia el trabajar a altas temperaturas del agua no salía rentable, en los sistemas geotérmicos sí que es posible trabajar con instalaciones con radiadores de alta temperatura. Aun así, dejar los radiadores de alta temperatura existentes en la vivienda objeto de estudio no es una alternativa en la consecución de este proyecto.

Lo que sí merece la pena plantear es el hecho de trabajar con suelo radiante, como en el escenario 1 o con radiadores de baja temperatura, como en el escenario 2. Según los datos extraídos de los dos primeros escenarios, la instalación del suelo radiante en la vivienda, incluyendo todos los gastos de carpintería, cuesta aproximadamente 50.000 € en total. En el escenario de la aerotermia, donde el coste de la instalación y de los equipos era más pequeño que en este caso y, encima, era necesario ese extra de eficiencia para poder justificar su instalación en una zona como Madrid, donde los inviernos son bastante fríos, la inversión en suelo radiante en una vivienda como la que es objeto de estudio, donde habría que levantar todo el suelo, podría llegar a justificarse. No obstante, en este escenario, donde el coste de los equipos va a ser mucho más grande y, encima, el rendimiento está asegurado, la realidad es que no tiene sentido plantear la instalación de suelo radiante.

Al fin y al cabo, las bombas geotérmicas están perfectamente preparadas para trabajar con radiadores de baja temperatura, como los que se plantearon en el segundo escenario de este capítulo. Es cierto que el suelo radiante presenta mejores rendimientos, produce una mayor sensación de confort en invierno y, sobre todo, refrigera mucho mejor que los radiadores. Sin embargo, el confort y la eficiencia también están asegurados con los radiadores de baja temperatura. Por último, aunque en cuestiones de refrigeración no son tan eficientes como el suelo radiante, sí que pueden refrigerar lo suficiente teniendo en cuenta que la vivienda no contaba con ningún tipo de instalación de refrigeración. Además, aunque de momento no se plantearán, en el futuro se podrá instalar algún fancoil en aquellas habitaciones en las que haya más necesidad.

3.3.3.4. Ventajas e inconvenientes de la geotermia con radiadores

A lo largo del apartado previo, ha quedado claro que, dada la inversión que habría que realizar en suelo radiante y dadas las sinergias entre las bombas geotérmicas y los radiadores de baja temperatura, la mejor opción es casar la geotermia con un circuito de agua de baja temperatura con radiadores. De este modo, la geotermia, los radiadores y la combinación de ambos, dan lugar a un escenario con una serie de ventajas y de inconvenientes que es necesario tener claras antes de empezar con el dimensionamiento y elección de los equipos específicos.

3.3.3.4.1. *Inconvenientes más resaltables del Escenario III*

- **Altos costes iniciales.** Probablemente la principal desventaja de la geotermia sea la inversión a realizar. Aparte de que los equipos son caros, es necesario el uso de maquinaria pesada y específica para llevar a cabo las excavaciones necesarias en el terreno. A todo ello hay que sumarle el coste de los estudios geológicos pertinentes. Por esta razón, la inversión en geotermia solo suele ser rentable en viviendas de gran tamaño y con mucho ahorro.
- **Mayor consumo de electricidad:** El combustible utilizado en las bombas de calor es la electricidad, que es la fuente de energía más costosa que existe. Por ello, instalar geotermia también supone aumentar la potencia contratada en el suministro eléctrico. No obstante, si se instalan paneles solares fotovoltaicos en la vivienda, el hecho de utilizar electricidad se convertiría en una ventaja.
- **Ausencia de potencia de reserva en la bomba de calor:** A diferencia de las calderas, las bombas de calor no tienen una potencia de reserva que aportar cuando el clima es más frío. Por esta razón, hace falta ser más fino con los cálculos, de manera que el confort sea el adecuado.
- **Deterioro de la superficie.** Al tener que remover el suelo, es posible que salgan algunos azufres y vapores que puedan ser contaminantes para el medio ambiente. Este hecho es más grave si la instalación se encuentra cerca de acuíferos. No obstante, este probablemente no sea el caso del inmueble objeto de estudio.
- **No apto para todo el mundo.** Por cuestiones de espacio, no es posible instalar geotermia en todas las viviendas. Además, no todos los suelos son aptos o recomendables para su explotación. Por tanto, es necesario realizar exploraciones geológicas que avalen la idoneidad de la vivienda para el uso de la geotermia. En el caso de la zona objeto de estudio no parece que haya ningún problema por obras comparables en viviendas cercanas.
- **Peor confort en invierno y verano.** El hecho de combinar la geotermia con radiadores en vez de suelo radiante da lugar a una peor sensación de confort, sobre todo en los meses más calurosos.

3.3.3.4.2. *Ventajas más resaltables del Escenario III*

- **Solución renovable y limpia:** Sus emisiones de CO₂ se consideran prácticamente nulas, dado que el ciclo que sigue el fluido refrigerante dentro del circuito de geotermia es completamente estanco. Esto, sumado a sus elevados rendimientos y a la ausencia de gases de combustión lo convierten en una de las soluciones más limpias del mercado.
- **Elevados rendimientos:** Los rendimientos de las bombas geotérmicas son incluso mayores a los de las bombas aerotérmicas (60 % menos de consumo energético). Esto es debido a que las temperaturas de captación son mucho más constantes. Además, aunque no se vaya a combinar con suelo radiante, la instalación sí que va a trabajar a bajas temperaturas del agua, por lo que va a trabajar en condiciones prácticamente óptimas.
- **Bajo consumo y ahorro:** Aunque necesitan más electricidad que las calderas para funcionar, la energía que se utiliza en las bombas de calor geotérmicas se extrae del suelo de manera gratis. Además, ese extra de consumo en electricidad puede ser suplido por una instalación fotovoltaica que lo genere. Si a todo ello se le suma que la instalación en la que se va a inscribir la bomba de calor será una instalación de baja temperatura, el ahorro conseguido es máximo.
- **Subvenciones y amortizaciones rápidas:** Al considerarse una energía con las soluciones renovables, el estado aporta ayudas en concepto de subvenciones para cambiar las antiguas calderas de gas, por soluciones que incluyan bombas de calor. Estas subvenciones, sumados al bajo consumo y los elevados rendimientos que hacen rebajar los gastos energéticos, suponen que las inversiones iniciales no tarden demasiado en recuperarse. Además, la vida útil de estas instalaciones es más larga que en las instalaciones de aerotermia.
- **Integración de calefacción, ACS y refrigeración en uno solo:** La principal ventaja de los sistemas frío-calor es el hecho de que aportan calor en invierno y frío en verano. Además, en este escenario en concreto, en el que la geotermia se junta con agua, también es posible integrar el ACS en la ecuación. Esto hace que, aunque sea una inversión elevada, se está solucionando la climatización entera y al completo de la vivienda.
- **Mejor inercia del sistema.** Al utilizar radiadores en vez de suelo radiante, aunque la sensación de confort vaya a ser menor, la inercia del sistema, es decir, la rapidez con la que se puede llegar a enfriar o calentar toda la instalación, es mucho más rápida que en el caso del suelo radiante.
- **Ahorro con respecto a suelo radiante y menor obra.** Para terminar con las ventajas, el hecho de contar con una instalación de radiadores hace que se requiera de una obra mucho menor, sin tener que levantar el suelo para la instalación de tubos. Además, teniendo en cuenta los presupuestos de los dos primeros escenarios, esto supone un ahorro de 40.000 € en la inversión inicial.

3.3.3.5. Dimensionamiento

De nuevo, tal y como sucedía en los demás apartados, se va a acudir al RITE y al CTE DB HE2 para el correcto dimensionamiento del escenario. Además, el IDAE también pone a disposición del público la Guía Técnica “Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica”, para instalaciones que no sobrepasen los 30 kW. La realidad, en resumidas cuentas, es que los equipos que son objeto de dimensionamiento en este caso no varían en nada con respecto al dimensionado realizado en los escenarios I y II. Por tanto, no hace falta explayarse demasiado en los procesos de cálculo. Por tanto, las decisiones tomadas en materia de dimensionamiento se pueden resumir en los siguientes puntos:

- **Bomba de calor.** De nuevo, el parámetro más importante en cuestiones de dimensionamiento es la potencia calorífica máxima para los meses de invierno. En la instalación que es objeto de estudio ya se calculó en los dos primeros escenarios que dicha potencia debía ser de 34 kW. En instalaciones geotérmicas trabajando a baja temperatura y con depósitos de ACS y de inercia, al contar con eficiencias tan grandes y una captación de calor casi constante, la potencia instalada puede llegar a ser bastante menor que esos 34 kW. De este modo, se considerará un margen del 30 % para la elección de la bomba de calor, es decir, la bomba de calor debe ser de un mínimo de **25 kW** para poder abastecer sobradamente las cargas térmicas de la vivienda.
- **Circuito de calefacción.** El sistema de calefacción trabajará exactamente igual que en el circuito de aerotermia del primer escenario, solo que en este caso los emisores serán radiadores, por lo que es probable que el tamaño de la bomba de impulsión elegido sea de menor tamaño. Tal y como pasaba en el circuito de aerotermia, el depósito de inercia en este caso se utiliza principalmente para proteger y alargar la vida útil de la bomba de calor, por lo que, en función de la bomba de calor elegida, se elegirá el depósito de inercia indicado. De este modo, tanto la elección de la bomba de impulsión, como la del depósito, será función de la misma empresa encargada de ofrecer la solución de aerotermia. No obstante, es muy probable que la parte de los radiadores sea realizada por una empresa diferente. Para ello, la potencia necesaria por parte de todos y cada uno de los radiadores distribuidos en cada habitación individual de la casa, será exactamente la misma que la dimensionada durante el TFG y resumida en la Tabla 12 del Escenario II.
- **Sistema de ACS.** Dado que tras la realización de los dos primeros escenarios se ha llegado a la conclusión de que el sistema de tuberías de encuentra en perfectas condiciones para aguantar durante largos años venideros, es muy probable que el circuito de tuberías de ACS se quede intacto. Por esta razón, la parte de ACS únicamente habrá que plantear el cambio del depósito, por uno mayor de 245 L, según lo estipulado en el CTE y calculado en el Escenario I. En cuanto a la impulsión del circuito, seguirá siendo necesaria la inclusión de una bomba hidráulica que aumente la presión y el caudal de la instalación.
- **Instalación geotérmica y demás accesorios.** Todo el diseño de las perforaciones y la forma de la instalación geotérmica en sí dependerá de los estudios geológicos realizados en la vivienda. Los estudios geológicos se denominan TRT (Test de

respuesta térmica) y se utilizan principalmente para conocer la conductividad térmica del terreno, la capacidad térmica y la difusividad. Tras estos tests, ya se estará en disposición de realizar la elección del tipo de instalación (vertical/horizontal), su distribución (en serie/paralelo), la elección del fluido circulante (agua/etilenglicol/propilenglicol), la elección de los tubos y su diámetro y, por último, el dimensionamiento del intercambiador de calor enterrado. No obstante, siempre y cuando sea posible, se utilizará una configuración vertical, dado que los rendimientos obtenidos serán mucho mayores.

3.3.3.6. Elección de los equipos

Con toda la información en términos de dimensionamiento, se acudió a tres empresas diferentes para la inspección de la vivienda, del terreno y para la realización de un presupuesto íntegro. Dado que la parte de los radiadores ya estaba resuelta con la empresa elegida en el Escenario II y la parte de ACS se iba a hacer individualmente, los presupuestos realizados únicamente incluían todos los equipos necesarios para la instalación y puesta en marcha de la instalación geotérmica, así como la elección de la bomba de calor, el depósito de inercia y la bomba impulsora del circuito secundario de calefacción. De este modo, la solución escogida en ha sido la elaborada por la empresa española GeoIntegral, la cual se explica a continuación. También, se refrescará la solución en materia de radiadores y de ACS.

3.3.3.6.1. El sistema de geotermia y sus componentes más importantes. Empresa GeoIntegral.

El presupuesto ofrecido por la empresa GeoIntegral era el que mejor relación calidad-precio ofrecía de todas las opciones. Aparte de que el dimensionado realizado por la empresa se ajustaba perfectamente a los requisitos calculados en el apartado anterior, la empresa ofrecía un grado de detalle bastante alto para la realización de la obra geotérmica. Este presupuesto cubre toda la parte de la instalación geotérmica, más algunos equipos específicos del sistema de calefacción muy relacionados con la bomba de calor, como son el depósito de inercia o la bomba de calor. Además, en él se incluye el precio de todos los equipos (bomba de calor, depósito de inercia, bomba de impulsión, tubos, sondas, equipos electrógenos, etc.), así como el precio de los estudios geológicos, permisos necesarios, gestión de las subvenciones, transporte de equipos y maquinaria, puesta en marcha del sistema y desmantelamiento de la antigua instalación.

De esta manera, las decisiones de la empresa en cuestión se pueden dividir en tres áreas diferentes de actuación, sumando todas ellas un precio total de **57.514,52 €**. En primer lugar, se comentará acerca de la bomba de calor elegida y sus principales características. Posteriormente, se comentará sobre todas las decisiones relacionadas con la instalación geotérmica en sí (distribución, número de perforaciones, asunciones utilizadas, etc.). Por último, se comentará brevemente sobre los equipos que acompañan a la bomba en el propio sistema de refrigeración y de calefacción, como son el depósito de inercia y la bomba de impulsión.

A. Bomba de calor geotérmica Clausius Classic HC 5-25 DS.

La bomba de calor propuesta por la empresa GeoIntegral es la bomba de calor geotérmica **Clausius, modelo Classic HC 5-25 DS**. Con un rango de potencias de calefacción de 5 a 25 kW, esta bomba de calor es la más grande de la gama doméstica de la empresa alemana Clausius. El rango de potencias es el adecuado, dado que es capaz de trabajar a muy bajas potencias en los meses de verano, en los que solo hay que aportar algo de agua al circuito ACS, y para invierno cumple con el mínimo especificado en el dimensionamiento de 25 kW. Aunque se antoja un número pequeño, las bombas de calor son capaces de trabajar constantemente a rendimientos muy altos, por lo que, teniendo en cuenta el futuro grado de aislamiento de la vivienda, esta potencia es más que suficiente. Además, el hecho de ser un fabricante alemán hace que probablemente pueda dar más potencia de la especificada.

La bomba de calor, cuya forma y componentes se muestran en la Ilustración 45 y sus datos técnicos se encuentran en el Anexo 8.2.2.2. tiene un precio unitario, sin incluir el IVA, de **13.641,60 €**. La bomba de calor cuenta con tecnología inverter e inversor de ciclo, lo que le hace compatible con la instalación de ACS y con la opción de refrigeración, cuya potencia entregada varía entre 6 y 30 kW. Su etiqueta energética es de A++, lo cual significa que es una de las opciones más sostenibles y con más eficiencias del mercado, con COPs que superan los 5 puntos para temperaturas mayores a 5 °C y que no bajan de 4,5 para temperaturas mayores a -2 °C. Teniendo en cuenta la climatología de Boadilla del Monte, estos serán los rendimientos que se manejarán en la vivienda.

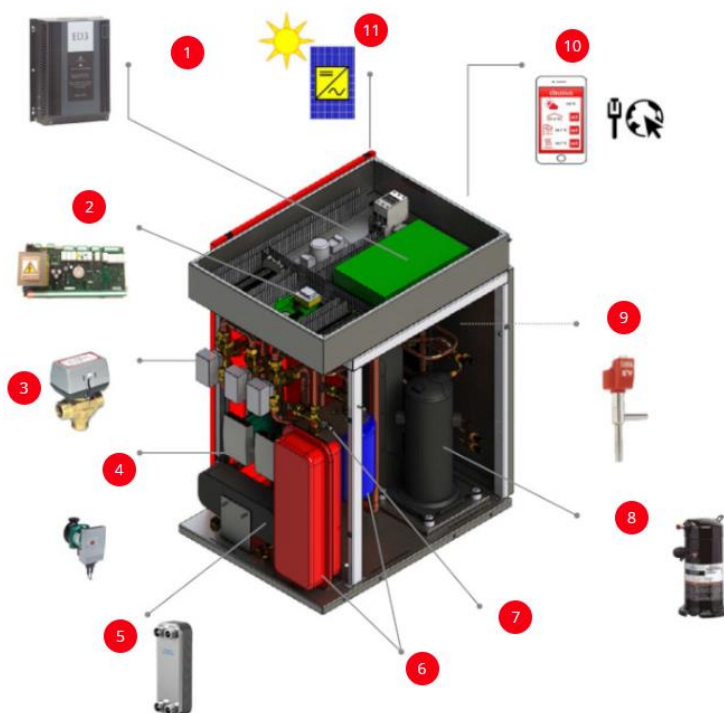


Ilustración 45. Bomba de calor geotérmica. (Fuente: Clausius)

La bomba cuenta con todos los accesorios necesarios para su funcionamiento e incluso con algunos con componentes que la convierten en la opción ideal para el desarrollo de este escenario. A continuación, se van a explicar los componentes que aparecen en la Ilustración 45.

1. Tecnología Inverter. Permite regular la velocidad del compresor para que este pueda adaptarse a la demanda instantánea de potencia. Esto supone unos aumentos de rendimiento bastante considerables y acelera el retorno económico.
2. Control con microprocesador. Es un control PID para mantener la temperatura de consigna controlada en todo momento.
3. Válvula de 3 vías para cambiar el sentido del ciclo.
4. Bomba de circulación de alta eficiencia y velocidad variable de la marca Wilo, para el circuito primario. Hace exactamente las mismas veces que la bomba Wilo existente que se inscribía en el circuito caldera – depósito.
5. Intercambiador asimétrico. Este componente hace que la transferencia de calor entre fluido refrigerante y el agua se máxima. Gracias a este tipo de tecnología, es posible utilizar bombas de potencias más bajas de lo normal, como en este caso concreto precisamente.
6. Vasos de expansión y válvulas de seguridad y drenaje para aumentar la presión del circuito de agua.
7. Sensores de presión para los circuitos de agua y del fluido refrigerante.
8. Compresor. Encargado de aumentar la presión y cambiar la temperatura del fluido refrigerante en el ciclo inverso de Rankine de la bomba de calor.
9. Válvula de expansión electrónica para que el evaporador de la bomba de calor trabaje a máximo rendimiento.
10. Conexión a internet. Para disponer de un acceso ilimitado desde cualquier dispositivo móvil u ordenador. De este modo, se pueden visualizar a distancia sus condiciones de funcionamiento, visualización de alarmas y configuración, y se puede encender apagar a distancia.
11. Módulo directo para su conexión directa a instalación fotovoltaica, lo cual resulta ideal para el inmueble objeto de estudio.

B. Instalación geotérmica vertical con sondas

El intercambio de calor con el terreno se va a realizar mediante captadores geotérmicos situados a 120 m de profundidad. Es decir, en este caso se plantea una instalación de **geotermia vertical con cuatro perforaciones** diferentes con sonda simple, siempre y cuando de esta manera se consiga el intercambio necesario para la potencia requerida. Las perforaciones, de entre 10 y 15 cm de ancho, llevan en su interior las sondas de polietileno PN16, cuyo diámetro oscilará entre 32 y 40 mm según la necesidad. Por dentro de las sondas, el fluido circulante será agua con anticongelante, en este caso propilenglicol, para evitar que se congele a la salida del evaporador en los meses más fríos del año.

La decisión de incluir geotermia vertical por parte de la empresa es debido a que, a mayor profundidad, el terreno permanece inmutable independientemente de la temperatura exterior. Esto se demuestra gracias la Ilustración 46, puesta a disposición por la propia empresa GeoIntegral. Es cierto que es necesario realizar un estudio del terreno previo para ver que esto es viable. Para ello, la primera perforación servirá como punto de partida del estudio geológico. No obstante, por obras comparables por la misma empresa en la zona, no debería de haber ningún problema con las perforaciones verticales indicadas. Dichas perforaciones se llevarán a cabo en la planta del edificio, lo más pegado posible a la ubicación del cuarto de calderas, para que el circuito sea lo más corto dentro de lo posible.

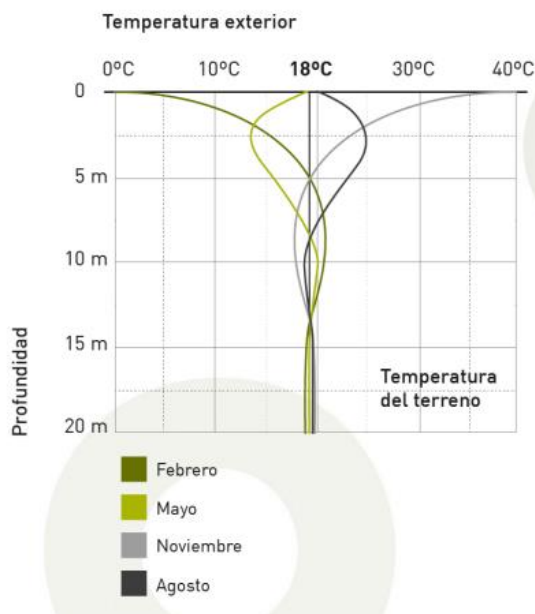


Ilustración 46. Gráfica de la temperatura del terreno en función de su profundidad. (Fuente: GeoIntegral)

Realmente, está es la parte más cara del apartado de la geotermia. El presupuesto ofrecido por la empresa incluye además todo el alquiler de los equipos para puesta en marcha de la instalación (incluyendo incluso un grupo electrógeno trifásico por si fuera necesario), todos los accesorios y toda la mano de obra necesaria (apertura y cierre de zanja) para llevar a cabo la excavación y las perforaciones. Además de todo ello, la misma empresa será la encargada de conseguir los permisos necesarios con la delegación de Industria y Minas para llevar a cabo el proyecto de perforación, pagando las tasas correspondientes y gestionando las subvenciones de este tipo de proyectos.

De este modo, los materiales incluidos en el presupuesto son la pesa simple para la introducción de las sondas, las propias sondas, el tubo de inyección, un mortero geotérmico, el conexionado horizontal del campo de captación mediante canalización hasta el cuarto de calderas, válvulas de corte, el relleno de propilenglicol, accesorios soldados, las conexiones a bomba de calor y el relleno posterior de las perforaciones con el propio material extraído mezclado con materiales diseñados para aumentar la conductividad térmica del terreno.

C. Demás accesorios de interés del circuito de agua caliente. El depósito de Inercia y la bomba circuladora

Para terminar, la empresa GeoIntegral también incluye en su propuesta los aparatos necesarios en la sala técnica (cuarto de calderas) para el conexionado de la bomba de calor con el circuito de agua caliente (o fría en los meses de verano) que lo acompaña. Su propuesta consiste en modificar el circuito caldera – depósito mostrado en el Anexo 8.1.4.1 mediante un solución en la que la bomba de calor sustituya a la caldera y se incluya un depósito de inercia y bombas de circulación nuevas. De este modo, en la propuesta se incluyen los siguientes puntos:

- **Bomba de calor geotérmica Clausius con bomba de impulsión Wilo incluida.** Aunque ya se ha explicado en la primera parte de este apartado, este es el origen del circuito. La bomba de calor sustituye a la caldera de gas existente (la cual será desmantelada y retirada por GeoIntegral), mientras que la bomba hidráulica de impulsión Wilo inscrita en la propia bomba sustituye a la bomba existente (Wilo LARS 25/6). La función de esta bomba no es más que la de aumentar la presión del agua a la salida de la bomba de calor para llevarla al depósito de inercia.
- **Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100.** El depósito de inercia elegido cuenta con 100 L de capacidad, lo cual es más que suficiente para proteger la bomba de calor de estar constantemente arrancando y parando cuando no es necesario. Cuenta con aislamiento térmico especial en espuma rígida de poliuretano. Su principal característica, mostrada en la Ilustración 47, es que es apta tanto para circuitos de calefacción como para circuitos de refrigeración, simplemente cambiando su configuración. Del depósito de inercia salen dos circuitos, uno hacia el sistema de calefacción y otro hacia el sistema de ACS. Sus datos técnicos se encuentran en el Anexo 8.2.2.2.

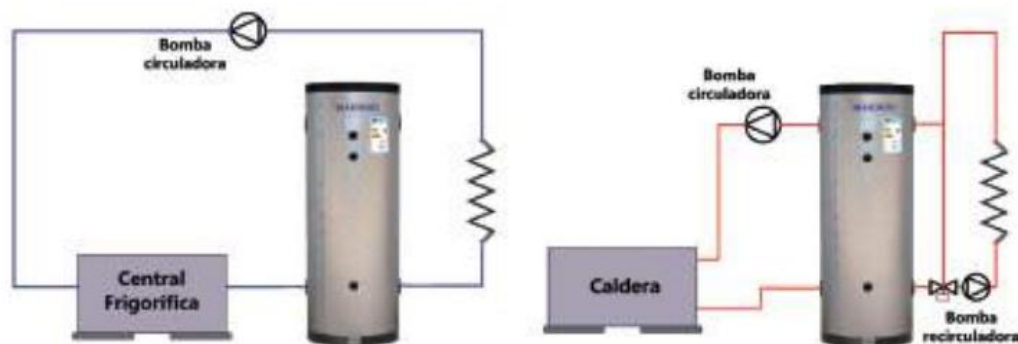


Ilustración 47. Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: Ibaiondo)

- **Circuito de calefacción/refrigeración.** La propuesta únicamente incluye la **bomba de circulación DAB** para el sistema de calefacción/refrigeración. La parte de los emisores corre a cargo de la empresa Ferrolí, mientras que, en cuanto a las condiciones del circuito en sí (tuberías, válvulas, etc.), se ha considerado que el circuito estaba en perfectas condiciones. La bomba de circulación elegida para el circuito es de velocidad variable y alta eficiencia (A), lo que hace incrementar aún más el rendimiento de la bomba de calor. De este modo, la bomba de circulación Grundfos Magna3 elegida durante el transcurso del TFG para el circuito de calefacción ya no será necesaria.
- **Circuito de ACS.** En el presupuesto realizado por la empresa solo se incluye el conexionado de la bomba de calor y del depósito de Inercia con el interacumulador existente. Así, en esta parte los cambios se han realizado de manera individual.

3.3.3.6.2. *Los radiadores. Radiadores Ferroli vía MásCalor*

Los emisores de este escenario son los radiadores de baja temperatura. Dado que, a lo largo del TFG, ya se dimensionaron estos y se llegó a un acuerdo con la empresa MásCalor para la provisión de estos, no tenía sentido que esta parte se incluyese dentro del presupuesto de GeoIntegral. En cuanto al número de elementos y dimensionamiento de cada radiador individual, aplica exactamente lo mismo que se comentó en el Escenario II (consultar apartado 3.3.2.1.3, subapartado C2). La única diferencia es que, en este caso, también estarán encargados de refrigerar en los meses de verano. El precio total de la instalación es, por tanto, de **6.986,85 €**.

3.3.3.6.3. *El sistema de ACS. Bomba de impulsión y depósito ACS*

Los cambios a realizar en el sistema de ACS se han realizado de manera individual, dado que la empresa GeoIntegral no ha entrado al análisis de este circuito. Realmente, este circuito ya se analizó largamente durante la realización del TFG, por lo que las conclusiones son exactamente las mismas. De este modo, tal y como ocurría en el Escenario I, se respetará la decisión del TFG de incluir la bomba de impulsión **Grundfos CME 1-2A** para aumentar la presión del circuito de ACS (Anexo 8.2.2.1). Esta será obtenida y puesta en marcha por la propia empresa Grundfos.

La otra decisión referente al circuito de ACS ha sido la sustitución del interacumulador de ACS existente por otro más moderno. Dado que era el único equipo que no había sustituido desde su instalación en 1975, parecía un buen momento para proponer un cambio. Además, tal y como sucedía en el primer escenario, se ha acudido al mismo fabricante para llevar a cabo su sustitución. De este modo, el interacumulador existente de **300 L** de Roca se ha sustituido por una de la misma capacidad de la marca **Baxi – Roca**, que es la misma empresa. Sus datos detallados están en el Anexo 8.2.2.2.

3.3.3.7. *Resumen del escenario*

En resumidas cuentas, se ha decidido que, por cuestiones económicas y de inversión, la única combinación viable del escenario de geotermia era el hecho de combinarla con los mismos radiadores de baja temperatura que fueron diseñados durante el TFG y que también se utilizan en el Escenario II. Además, de ello se han introducido algunas medidas individuales para el sistema de ACS, resultando en una inversión total de **68.600,85 €** (consultar la Tabla 93 del Documento 2: Presupuestos, para obtener un mayor detalle). En la Tabla 16 se muestra un resumen de las medidas, las cuales se dividen en tres presupuestos diferentes, tal y como se explica a continuación de esta.

- 1) **El sistema de geotermia:** La empresa GeoIntegral ha realizado un presupuesto por un total de **57.514,52 €**. Este presupuesto cubre toda la parte de la instalación geotérmica, más algunos equipos específicos del sistema de calefacción muy relacionados con la bomba de calor, como son el depósito de inercia o la bomba de calor. Incluye el precio de todos los equipos (bomba de calor, depósito de inercia, bomba de impulsión, tubos, sondas, equipos eléctricos, etc.), así como el precio de los estudios geológicos, permisos necesarios, gestión de las

subvenciones, transporte de equipos y maquinaria, puesta en marcha del sistema y desmantelamiento de la antigua instalación.

- 2) **Radiadores.** Para la parte de los radiadores de baja temperatura se ha acudido directamente al mismo proveedor del TFG y del Escenario II. De este modo, no hay ningún cambio y el precio total es de **6.986,85 €**.
- 3) **Circuito de ACS.** Esta parte se ha realizado de manera individual atendiendo a las necesidades específicas del sistema de ACS. Las decisiones han sido las de incorporar un nuevo interacumulador y la misma bomba de circulación de ACS que se diseñó durante el TFG. El precio conjunto de los equipos es de **4.099,48 €**.

Tabla 16. Resumen de los cambios en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

1	Bomba de calor geotérmica Claussius Classic HC 5-25 DS	57.514,52 €
	Instalación geotérmica vertical de 120 con 4 perforaciones	
	Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100	
	Bomba circuladora de alta eficiencia DAB	
	Legalización y estudios previos	
	Alquiler y transporte de equipos	
	Mano de obra	
2	Radiadores Ferroli Europa C	6.986,85 €
3	Bomba Grundfos CME 1-2 A	4.099,48 €
	Interacumulador ACS 300 L	
		68.600,85 €

3.4. PERFILES ENERGÉTICOS DE LOS ESCENARIOS DE CLIMATIZACIÓN

La razón de ser de la proposición de los distintos escenarios era poder llegar a un ahorro, tanto energético, como económico. No obstante, dado que en términos económicos no es posible saber el coste exacto sin haber tenido en cuenta los cambios introducidos en materia fotovoltaica, para la compleción de este capítulo únicamente se crearán los perfiles mensuales esperados de demanda energética, medidos en kWh. Para cada uno de los tres escenarios se crearán dos perfiles diferentes que tienen objetivos diferentes:

- I) Perfil de consumo-ahorro en calefacción.** El primero de ellos será un perfil energético únicamente de la parte de calefacción. Este perfil simulará el consumo energético (ya sea eléctrico o de biomasa) de la parte de calefacción imaginando que la vivienda seguirá siendo utilizada de la misma manera en los próximos años. De este modo, se va a poder cuantificar el ahorro energético que se está produciendo en cada escenario de climatización fruto de los cambios realizados.

- II) Perfil energético total.** Con el fin de poder dimensionar más tarde la instalación fotovoltaica y poder realizar cálculos financieros realistas, se crearán perfiles energéticos completos de la vivienda, que tengan en cuenta también la parte eléctrica de la luz y que también tengan en cuenta la parte de refrigeración. Para este perfil se asumirá que la utilización de la vivienda cambia con respecto a la utilización actual y la vivienda pasa a tener máxima ocupación.

Realmente, aunque el segundo de los perfiles tiene al final unos pasos extras el camino seguido para la creación de ambos perfiles será bastante parecido. En primer lugar, se explicará el camino seguido para la realización del Perfil I y, posteriormente, se seguirá el mismo procedimiento para explicar la elaboración del Perfil II. Finalmente, se mostrarán los resultados de ambos perfiles para cada uno de los escenarios

3.4.1. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PERFIL I. PERFIL DE CONSUMO AHORRO EN CALEFACCIÓN

- 1) Consumo actual de calefacción.** Como se tratan de escenarios de climatización, en el que se asume que el único coste es el de la fuente de energía (es decir, despreciando costes de electricidad por funcionamiento de bombas hidráulicas, etc.), se partirá siempre del perfil ofrecido en la Ilustración 4, en el que se muestra el actual consumo mensual de gas natural en la vivienda a partir de las facturas reales del inmueble entre 2021 y 2022. Para este primer perfil, se va a asumir que la utilización de la vivienda seguirá siendo la misma, tanto en número de personas (4), como en costumbres de utilización (verano prácticamente deshabitado y una utilización bastante alta en invierno). Aunque en algunos casos los escenarios han sido dimensionados para una utilización más alta, con el fin de medir ahorro energético y económico, lo lógico es asumir que en el corto plazo dicha utilización no va a cambiar, lo cual es una hipótesis real y viable para los años venideros.

2) **Aplicación de las medidas de ahorro directo (TFG).** En la segunda parte del proceso se descontará el ahorro directo por la “modernización de la instalación” al consumo actual de calefacción. El cálculo de ahorro energético realizado en el TFG, el cual se recordaba, corregía y ampliaba ligeramente en el capítulo 2.2.3 de este proyecto, tenía como objetivo simplemente estimar que ahorro directo podía ser atribuible al hecho de, por un lado, redimensionar la instalación (cambiando aislamientos y radiadores) y, por el otro lado, de llevar a cabo los cambios en bombas hidráulicas, hacer determinados cambios en tuberías, sustituir maquinaria antigua, etc. La segunda parte de este ahorro realmente ha cambiado un poco respecto al TFG, pues los cambios no se mantienen exactamente. No obstante, dado que estos cambios se darán de manera teórica, a continuación, se explica que mejoras de rendimiento serán tenidas en cuenta:

- **Redimensionamiento de la instalación:** Dado que el máximo de potencia para la que estaba preparada la instalación actual con radiadores de hierro fundido era de 36,29 kW, mientras que en el dimensionamiento actual de todos los escenarios (incluidos los que incluyen suelo radiante), la potencia máxima es de 34,26 kW, se produce un ahorro directo por el redimensionamiento de los emisores y de la instalación del **6%**.
- **Cambio en forma de trabajar de la instalación:** En este punto se hace referencia al aumento de rendimiento que tiene lugar en la instalación por el hecho de incluir bombas hidráulicas de alta eficiencia, de incluir válvulas termostáticas autorregulables, de mejorar el estado de las tuberías y de sustituir los radiadores antiguos por unos nuevos o por suelo radiante. La realidad es que cuantificar de manera teórica cuál es el ahorro total por cada una de las medidas es muy complicado y dependerá de cada instalación. En el caso de esta instalación en concreto, según las empresas Hargassner, GeoIntegral y Ecopel (tres de las empresas que han venido a visitar la vivienda y a realizar presupuestos) este ahorro estará seguramente entre un 10% y un 20% con casi total seguridad. Por tanto, se asumirá que este ahorro es del **15%**.

De este modo, se ha decidido que el ahorro directo que será aplicado por el redimensionamiento de la instalación (6%), más el aumento de rendimiento de sus partes (15%), será de exactamente un **21%** en todos los escenarios. Es decir, el cambio de la forma de funcionar de la instalación supondría un ahorro de energía (en este caso en forma de gas natural) mensual del 21%.

3) **Cambio en la fuente de energía de calefacción.** Hasta este momento, el ahorro calculado en el segundo punto es ahorro energético en kWh de gas natural, que era el combustible utilizado hasta el momento. Sin embargo, en este último punto se le sumará el ahorro que vendrá propiciado por el hecho de cambiar el gas natural por distintas fuentes de energía en función de cada escenario. Dado que, al fin y al cabo, se está hablando de kWh de combustible utilizado para ser convertido en potencia útil, el proceso será el mismo en cada escenario, sin

importar si el combustible utilizado es gas, electricidad o biomasa. En este sentido, el ahorro producido por dicho cambio se puede dividir en dos partes:

- **Eliminación de la caldera de gas:** Por un lado, se elimina la caldera de gas que, al tener ya más de 20 años, se puede asumir que su rendimiento estaba ya por debajo del 80 % (recomendación de expertos). Esto significa que, para dar 40 kW de potencia instantánea útil, debía estar consumiendo 50 kW de gas. De esta manera, el hecho de quitar la caldera de gas con respecto a cualquier otra fuente de energía cuyo rendimiento fuera del 100%, supone un ahorro directo del **20%**.
- **Adición de nuevas fuentes de energía:** El último paso consiste en tener en cuenta el rendimiento individual de la fuente de energía elegida en cada escenario (bomba de calor aire-agua, caldera de biomasa, y bomba de calor geotérmica respectivamente). Tal y como se explicaba en la introducción del capítulo 3.3, según Herrero (2021), los índices que de verdad interesan para captar el rendimiento real de los equipos son aquellos que nos indican el comportamiento de los equipos en el tiempo. Pues bien, en cada uno de los escenarios se utilizará el SCOP de la fuente de energía para determinar su rendimiento. El SCOP es el coeficiente estacional que representa el cociente de la demanda anual de calefacción (kWh aportados al circuito de agua para calentar la instalación) entre el consumo energético anual destinado a calefacción (kWh de electricidad o biomasa, según cada caso).

Es decir, en este último paso se determinará cuánto combustible es necesario exactamente para poder cubrir la demanda actual, una vez ya tenido en cuenta el ahorro directo del 21% y la eliminación de la caldera de gas. Hay que tener en cuenta que en aquellos casos en los que la fuente de energía es la electricidad, el ahorro en combustible medido en kWh será muy grande gracias a valores de rendimiento muy altos. No obstante, en términos monetarios este ahorro no será tan alto, pues el precio de la electricidad es bastante más alto que el del gas. Los SCOPs y rendimientos utilizados en cada escenario, los cuales se muestran a continuación, proceden todos de las hojas de características aportadas por los fabricantes y que se muestran en el Anexo 8.2.2.2.

- **Escenario I.** Bomba de calor Monoblocco R32 Triphase 30 de Mitsui con SCOP = **4,19** para instalaciones a baja temperatura.
- **Escenario II.** Caldera de pellets Smart-PK 32 del fabricante Hargassner con eficiencia de **0,953**. Al ser biomasa la fuente de energía, los rendimientos son parecidos a los del gas natural.
- **Escenario III.** Bomba de calor geotérmica Clausius Classic HC 5-25 DS con SCOP = **5,1** para instalaciones a baja temperatura.

3.4.1.1. **PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PERFIL II. PERFIL ENERGÉTICO TOTAL**

La hipótesis utilizada para este segundo perfil es que la utilización de la vivienda se tomará teniendo en cuenta que las 7 habitaciones de la vivienda estarán ocupadas, es decir que la utilización de la vivienda es del 100%. En este caso, dado que lo que se busca es el perfil energético total, también habrá que tener en cuenta la parte de refrigeración y la factura eléctrica de la luz y del funcionamiento de los electrodomésticos. De este modo, para llegar a los perfiles energéticos totales (en el caso del Escenario II serán dos perfiles diferentes, uno para pellets y otro para electricidad) se realizarán las partes de calefacción, de luz y de refrigeración por separado, y finalmente se juntará toda la información.

3.4.1.2. **Consumo de calefacción**

- 1) **Consumo actual de calefacción corregido:** En este caso, también se partirá del consumo actual de gas natural en la vivienda, pero dicho consumo se mayorará como si la utilización de la vivienda fuera del 100%. Es decir, si la instalación actual estuviese siendo utilizada en su 100%, el perfil de consumo actual que se muestra en azul en la Ilustración 48, pasaría a tener la forma del perfil mostrado en naranja en la Ilustración 48. Para llegar a dicho perfil de consumo a partir del consumo actual, se han realizado las siguientes asunciones:
 - En la vivienda actual viven 4 personas, por lo que 4 de las 7 habitaciones de la vivienda están ocupadas. Se puede asumir, por tanto, que en términos de calefacción y de utilización del gas, de manera proporcional, la vivienda subiría en $7/4 (= 1,75)$ su consumo actual de gas. Esta asunción es válida para los meses comprendidos de febrero a junio y de septiembre a noviembre. Por tanto, el consumo de dichos meses se ha multiplicado por un factor de 1,75.
 - El perfil actual muestra sus máximos de consumo en diciembre y enero, no solo porque son los meses más fríos, sino también porque en los meses navideños la vivienda suele estar utilizada en su 100%. Asumiendo que hay 10 días tanto en diciembre, como en enero, en el que la utilización es del 100%, solo dos terceras partes del consumo serán mayoradas en esos meses. De este modo, el consumo de diciembre queda igual que el de febrero y marzo, y enero, que es el más frío, el consumo será un poco superior.
 - Para los meses de julio y agosto, en los que actualmente la casa se vacía, se asumirá que el consumo es exactamente igual que el de junio, donde solo es necesario parte del ACS.

Con todas estas hipótesis, se llega a la Ilustración 48. En azul, se muestra la base de la que se partirá para construir el Perfil I de cada escenario, mientras que en

naranja se muestran los datos base para construir el Perfil II. La potencia total del Perfil II es de 104 MWh anuales, lo cual es 1,7 veces mayor que la del Perfil I. Es un número bastante razonable teniendo en cuenta que la potencia instantánea máxima de la caldera actual es de 47,65 kW.

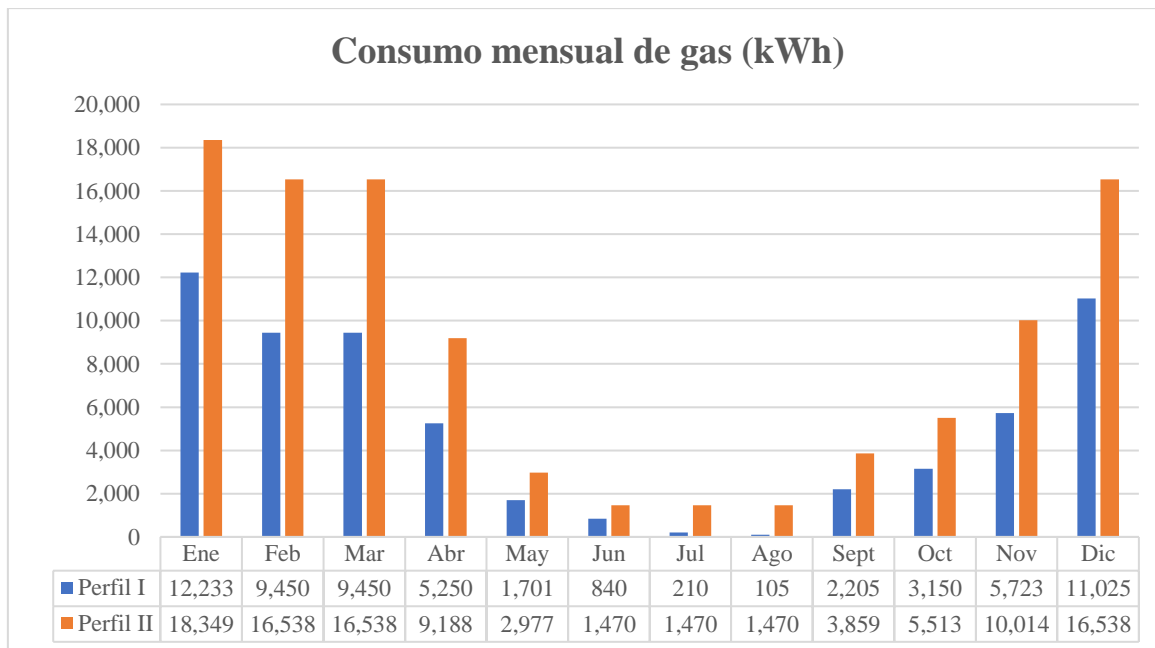


Ilustración 48. Perfiles de consumo mensual de gas en la vivienda (kWh). (Fuente: Elaboración propia a partir de las facturas reales de la vivienda)

2) **Mismo proceso que en el Perfil I.** Se llevarán a cabo exactamente las mismas correcciones por ahorro que en el Perfil I, dado que al fin y al cabo los rendimientos de la instalación no cambian.

- **Ahorro directo:** Ahorro total del **21%** dividido en:
 - **Redimensionamiento de la instalación.** Ahorro del **6%**.
 - **Cambio en la forma de trabajar.** Ahorro del **15%**.
- **Cambio en la fuente de energía:** Ahorro del **20%** por la eliminación de la caldera de gas más un rendimiento estacional en función de cada escenario:
 - **Escenario I.** SCOP = **4,19**.
 - **Escenario II.** Eficiencia de **0,953**.
 - **Escenario III.** SCOP = **5,1**.

3.4.1.3. Consumo de luz

Actualmente, la única fuente de consumo de electricidad es la parte de luz y de los electrodomésticos. Esto hace que la demanda de electricidad sea bastante plana a lo largo de todo el año, presentando valores un poco más altos en los meses en los que hay que utilizar aparatos de ventilación, y valores un poco más bajos en aquellos meses que la casa está inutilizada. Dicho perfil se mostraba en la Ilustración 5 de este trabajo y muestra en azul en la Ilustración 49. En este primer punto, al igual que pasaba en la parte de calefacción, se corregirá dicho perfil de electricidad inicial bajo las hipótesis que se exponen a continuación. El resultado del consumo esperado de luz en la vivienda se muestra en naranja en la Ilustración 49:

- Dado que la parte de ventilación se eliminará y también se elimina el hecho de que la casa se pueda vaciar en los meses de verano, se elimina la estacionalidad de la ecuación. De este modo, la demanda de luz se asumirá plana durante todo el año.
- Como se puede ver, los valores de consumo en los meses normales están alrededor de los 1500 kWh. En el mes de agosto, en el que la casa está inhabitada el consumo no baja de 1.250 kWh, lo cual quiere decir que el consumo fijo es bastante grande. Además, en los meses de diciembre y enero en los que hay mayor ocupación, el aumento en consumo no parece notarse. De este modo, se tomará un valor constante de 1.700 kWh como valor constante para todo el año. La lógica utilizada es que si hay 250 kWh de consumo variable (1.500 – 1.250) siendo 4 las habitaciones ocupadas, es razonable asumir que habrá 450 kWh de consumo variable si son 7 las habitaciones ocupadas (aplicación del factor de 1,75 de nuevo).

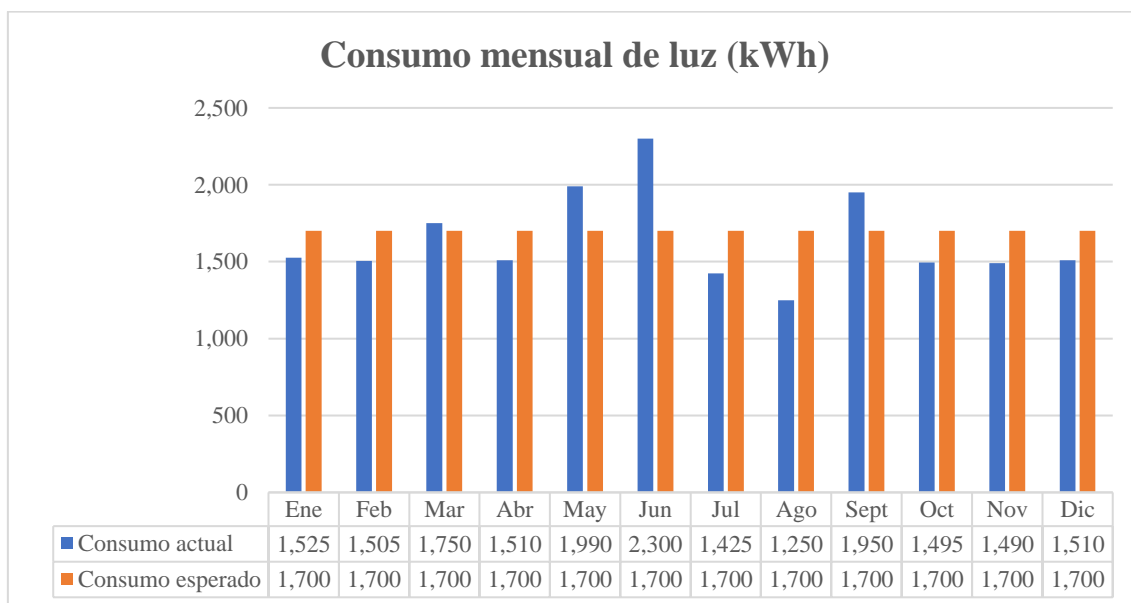


Ilustración 49. Perfiles de consumo mensual de luz en la vivienda (kWh). (Fuente: Elaboración propia a partir de las facturas reales de la vivienda)

3.4.1.4. Consumo de refrigeración

Al consumo de luz será necesario sumarle el consumo eléctrico por la introducción de instalación de refrigeración, dado que en los tres escenarios la fuente de energía es la electricidad (bomba de calor aire-agua, bomba de calor aire-aire y bomba de calor geotérmica, respectivamente). Como esta instalación no existía hasta el momento, no hay un perfil de consumo del que se pueda partir. Además, aunque es una mejora completamente necesaria en la vivienda, se trata de un gasto extra en la factura de electricidad (salvo por los picos de ventilación ya mencionados). El camino seguido para llevar a cabo el cálculo del consumo estimado en refrigeración es el siguiente.

- 1) **Potencia calorífica.** El cálculo de las cargas frigoríficas llevado a cabo en el Escenario II indicaba que eran necesarios entre 16 y 23 kW para el primer piso, y entre 15 y 18 kW para el segundo de la vivienda. Con estos datos se llegó a la conclusión de que serían necesarias bombas de calor (ya sean de agua o aire) con una capacidad frigorífica máxima de unos 30 kW. De este modo, todos los escenarios se dimensionaron para que la bomba de calor fuese capaz de aportar la potencia máxima de 30 kW, que se distribuyen de manera bastante equitativa entre la primera y la segunda planta.
- 2) **Perfil de utilización.** El sistema de refrigeración solamente será utilizado en los meses de mayo a septiembre, con un grado de utilización bastante menor en estos dos meses mencionados. Para realizar el perfil de utilización, mostrado en la Ilustración 50, se va a asumir la siguiente utilización para dichos meses:
 - **Junio, Julio y Agosto.** Dado que las temperaturas en Madrid en los meses de verano son muy altas, se asumirá que cuando la refrigeración se enciende durante el día, la carga es máxima, mientras que, si se enciende por la noche, la carga es media.
 - **Habitaciones.** Se asumirá que las habitaciones tendrán la refrigeración encendida durante al menos 6 horas, 4 de ellas por la noche a media carga, y 2 de ellas durante el día a plena carga. Dado que la mitad de la potencia de refrigeración está destinada a las habitaciones (15 de los 30 kW), se asume que, durante estos meses, hay 4 horas en las que la bomba de calor está entregando 15 kW, y 8 horas en las que está entregando 7,5 kW.
 - **Salón, cuarto de estar y estudio.** A estas habitaciones hay destinados 10 kW de potencia. La refrigeración estará encendida durante el día un total de 8 horas de media en estas salas, más o menos 3 durante la mañana y otras 5 horas durante la tarde.
 - **Cocina y recibidores.** 5 kW encendidos durante un máximo de 2 horas al día.

- **Mayo y Septiembre.** Se asume que solo la mitad de los días del mes es necesaria la misma carga de calefacción que en los demás meses. De este modo, el consumo en estos meses es de la mitad.

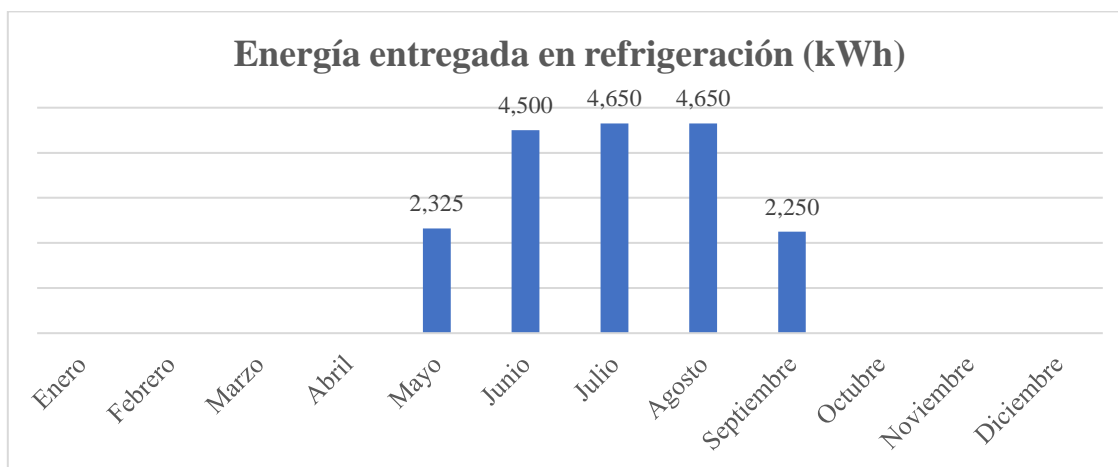


Ilustración 50. Energía entregada en refrigeración en la vivienda (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

3) Aplicación de los coeficientes estacionales. Al igual que pasaba en la parte de la calefacción, en la parte de refrigeración también es necesaria la utilización de coeficientes estacionales para tener en cuenta el rendimiento de la fuente de energía. En este caso, se utilizará el SEER, que es el coeficiente estacional que representa el cociente de la demanda anual de refrigeración (kWh aportados al circuito de agua o aire para enfriar la instalación) entre el consumo energético anual destinado a refrigeración (kWh de electricidad).

- **Escenario I.** Bomba de calor Monoblocco R32 Triphase 30 de Mitsui con SEER = **5,71**.
- **Escenario II.** Bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32 con SEER = **6,5**.
- **Escenario III.** Bomba de calor geotérmica Clausius Classic HC 5-25 DS con SEER = **6,8**.

3.4.1.5. Suma de las dos partes

Para conseguir el perfil energético total, el último paso consistirá en sumar el consumo de calefacción, de luz y refrigeración para la creación de un perfil único. En el Escenario II, en el que la fuente de energía para calefacción es la biomasa, habrá que realizar dos perfiles de consumo diferentes, uno de electricidad, y otro de biomasa. A continuación, se muestran los perfiles energéticos obtenidos para cada escenario, tanto en formato tabla, como en formato gráfico.

3.4.2. PERFILES ENERGÉTICOS DEL ESCENARIO I: AEROTERMIA CON CIRCUITO DE AGUA

Tabla 17. Perfiles energéticos del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Total Anual</i>
Perfil I. <i>Perfil de calefacción</i>	1) Consumo actual	12.233	9.450	9.450	5.250	1.701	840	210	105	2.205	3.150	5.723	11.025	61.341
	2) Ahorro directo <i>([1]-0,79)</i>	9.664	7.466	7.466	4.148	1.344	664	166	83	1.742	2.489	4.521	8.710	48.459
	3a) Eliminación del gas <i>([2]-0,8)</i>	7.731	5.972	5.972	3.318	1.075	531	133	66	1.394	1.991	3.617	6.968	38.768
	3b) Consumo final tras aplicar SCOP <i>([3a]/4,19)</i>	1.845	1.425	1.425	792	257	127	32	16	333	475	863	1.663	9.252
Perfil II. <i>Perfil energético total</i>	1) Consumo actual corregido	18.349	16.538	16.538	9.188	2.977	1.470	1.470	1.470	3.859	5.513	10.014	16.538	103.921
	2) Ahorro directo <i>([1]-0,79)</i>	14.496	13.065	13.065	7.258	2.352	1.161	1.161	1.161	3.048	4.355	7.911	13.065	82.098
	3a) Eliminación del gas <i>([2]-0,8)</i>	11.596	10.452	10.452	5.807	1.881	929	929	929	2.439	3.484	6.329	10.452	65.678
	3b) Consumo final tras aplicar SCOP <i>([3a]/4,19)</i>	2.768	2.494	2.494	1.386	449	222	222	222	582	831	1.511	2.494	15.675
	4) Consumo de luz	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	20.400
	5a) Potencia entregada en refrigeración	0	0	0	0	2.325	4.500	4.650	4.650	2.250	0	0	0	18.375
	5b) Consumo tras aplicar SEER <i>([5a]/5,71)</i>	0	0	0	0	407	788	814	814	394	0	0	0	3.218
	6) Consumo eléctrico total <i>([3b]+[4]+[5b])</i>	4.468	4.194	4.194	3.086	2.556	2.710	2.736	2.736	2.676	2.531	3.211	4.194	39.293

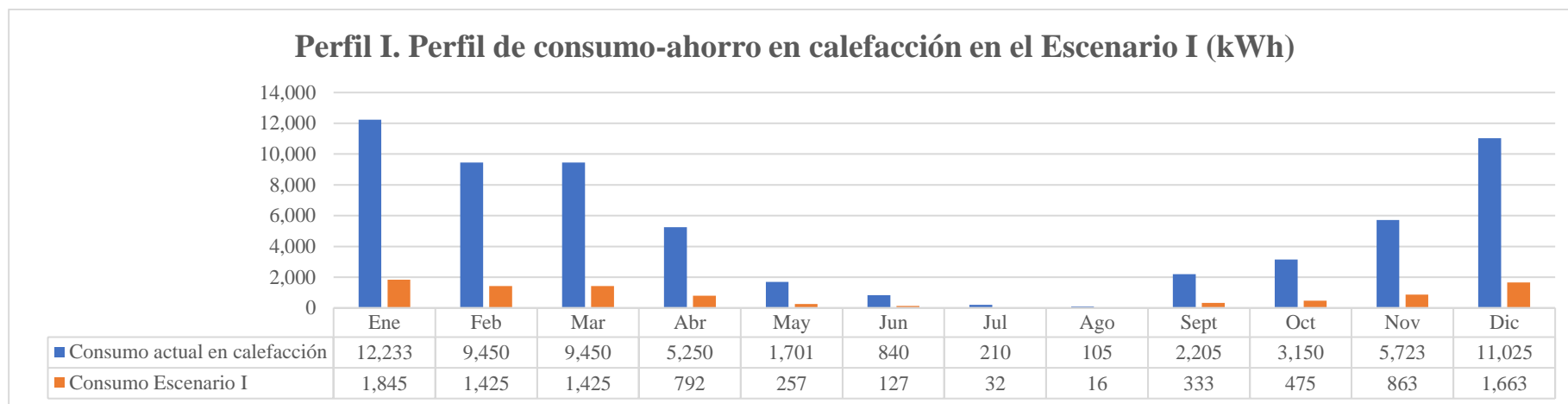


Ilustración 51. Perfil I del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

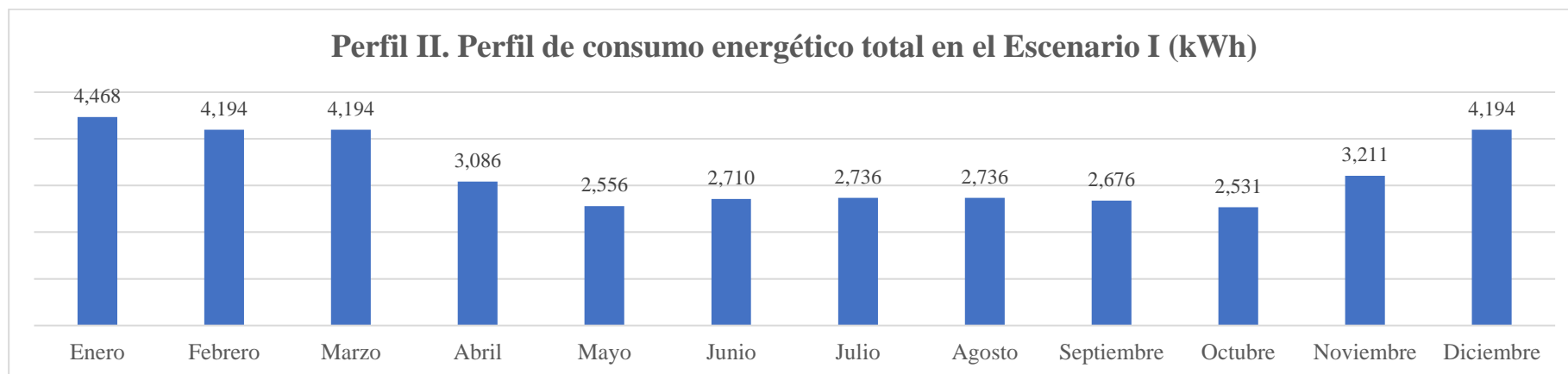


Ilustración 52. Perfil II del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

3.4.3. PERFILES ENERGÉTICOS DEL ESCENARIO II: CALDERA DE BIOMASA CON RADIADORES Y AEROTERMIA POR CONDUCTOS

Tabla 18. Perfiles energéticos del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Total Anual</i>
Perfil I. <i>Perfil de calefacción</i>	1) Consumo actual	12.233	9.450	9.450	5.250	1.701	840	210	105	2.205	3.150	5.723	11.025	61.341
	2) Ahorro directo ([1]-0,79)	9.664	7.466	7.466	4.148	1.344	664	166	83	1.742	2.489	4.521	8.710	48.459
	3a) Eliminación del gas ([2]-0,8)	7.731	5.972	5.972	3.318	1.075	531	133	66	1.394	1.991	3.617	6.968	38.768
	3b) Consumo final tras aplicar SCOP ([3a]/0,953)	8.112	6.267	6.267	3.482	1.128	557	139	70	1.462	2.089	3.795	7.311	40.679
Perfil II. <i>Perfil energético total</i>	1) Consumo actual corregido	18.349	16.538	16.538	9.188	2.977	1.470	1.470	1.470	3.859	5.513	10.014	16.538	103.921
	2) Ahorro directo ([1]-0,79)	14.496	13.065	13.065	7.258	2.352	1.161	1.161	1.161	3.048	4.355	7.911	13.065	82.098
	3a) Eliminación del gas ([2]-0,8)	11.596	10.452	10.452	5.807	1.881	929	929	929	2.439	3.484	6.329	10.452	65.678
	3b) Consumo biomasa tras aplicar SCOP ([3a]/0,953)	12.168	10.967	10.967	6.093	1.974	975	975	975	2.559	3.656	6.641	10.967	68.917
	4) Consumo de luz	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	20.400
	5a) Potencia entregada en refrigeración	0	0	0	0	2.325	4.500	4.650	4.650	2.250	0	0	0	18.375
	5b) Consumo tras aplicar SEER ([5a]/6,5)	0	0	0	0	358	692	715	715	346	0	0	0	2.827
	6) Consumo eléctrico total ([4]+[5b])	1.700	1.700	1.700	1.700	2.058	2.392	2.415	2.415	2.046	1.700	1.700	1.700	23.227

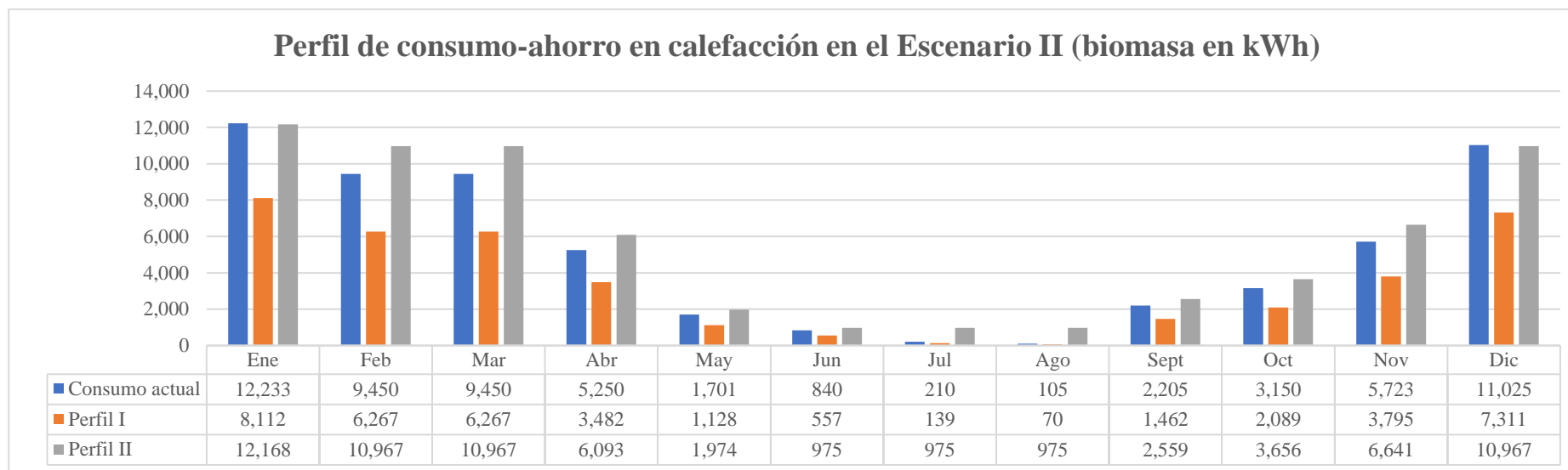


Ilustración 53. Perfil I del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

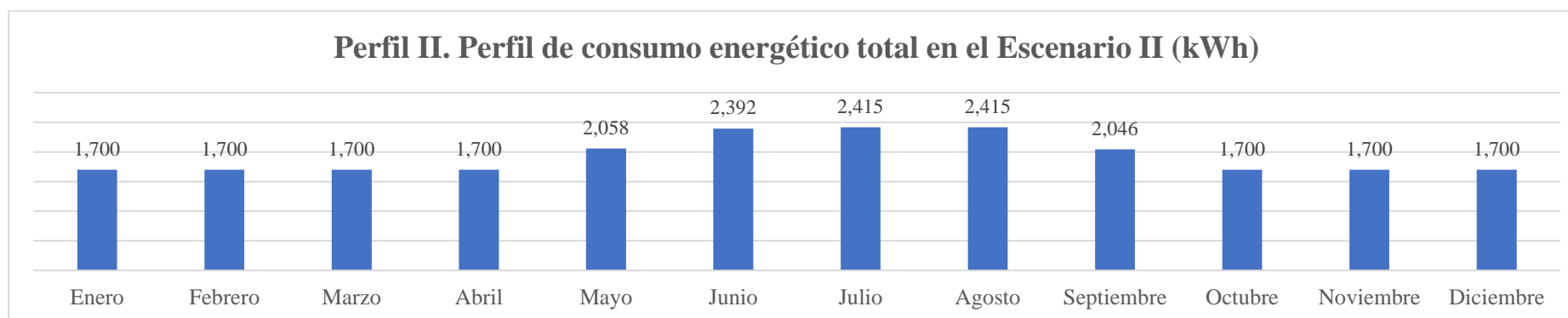


Ilustración 54. Perfil II del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

3.4.4. PERFILES ENERGÉTICOS DEL ESCENARIO III: GEOTERMIA CON CIRCUITO DE AGUA

Tabla 19. Perfiles energéticos del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Total Anual</i>
Perfil I. <i>Perfil de calefacción</i>	1) Consumo actual	12.233	9.450	9.450	5.250	1.701	840	210	105	2.205	3.150	5.723	11.025	61.341
	2) Ahorro directo ([1]-0,79)	9.664	7.466	7.466	4.148	1.344	664	166	83	1.742	2.489	4.521	8.710	48.459
	3a) Eliminación del gas ([2]-0,8)	7.731	5.972	5.972	3.318	1.075	531	133	66	1.394	1.991	3.617	6.968	38.768
	3b) Consumo final tras aplicar SCOP ([3a]/5,1)	1.516	1.171	1.171	651	211	104	26	13	273	390	709	1.366	7.601
Perfil II. <i>Perfil energético total</i>	1) Consumo actual corregido	18.349	16.538	16.538	9.188	2.977	1.470	1.470	1.470	3.859	5.513	10.014	16.538	103.921
	2) Ahorro directo ([1]-0,79)	14.496	13.065	13.065	7.258	2.352	1.161	1.161	1.161	3.048	4.355	7.911	13.065	82.098
	3a) Eliminación del gas ([2]-0,8)	11.596	10.452	10.452	5.807	1.881	929	929	929	2.439	3.484	6.329	10.452	65.678
	3b) Consumo final tras aplicar SCOP ([3a]/5,1)	2.274	2.049	2.049	1.139	369	182	182	182	478	683	1.241	2.049	12.878
	4) Consumo de luz	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	20.400
	5a) Potencia entregada en refrigeración	0	0	0	0	2.325	4.500	4.650	4.650	2.250	0	0	0	18.375
	5b) Consumo tras aplicar SEER ([5a]/6,8)	0	0	0	0	342	662	684	684	331	0	0	0	2.702
	6) Consumo eléctrico total ([3b]+[4]+[5b])	3.974	3.749	3.749	2.839	2.411	2.544	2.566	2.566	2.509	2.383	2.941	3.749	35.980

Perfil I. Perfil de consumo-ahorro en calefacción en el Escenario III (kWh)

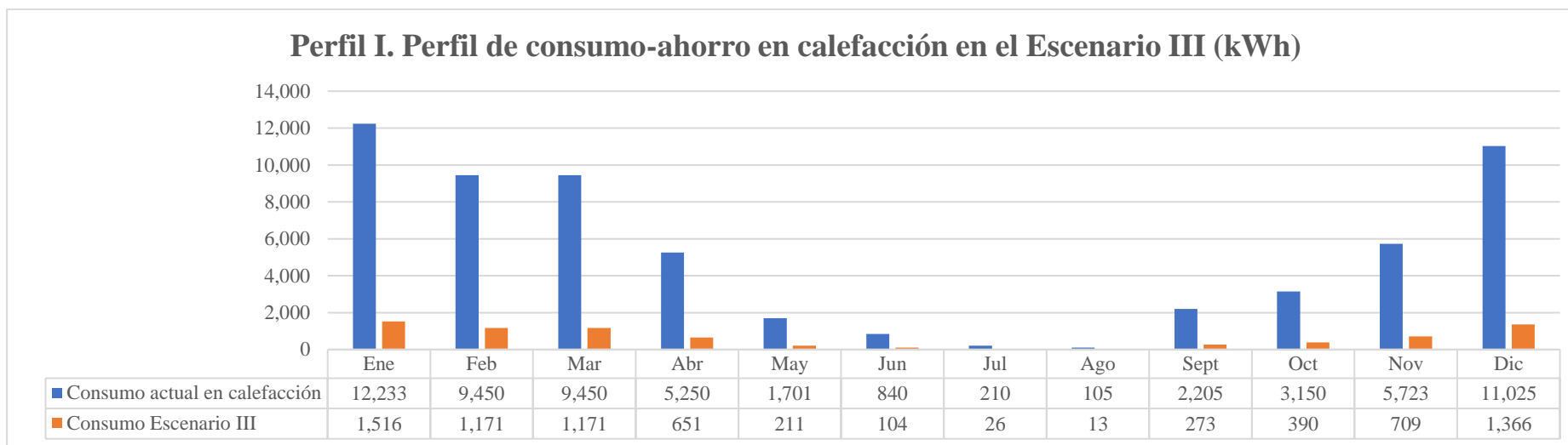


Ilustración 55. Perfil I del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

Perfil II. Perfil de consumo energético total en el Escenario III (kWh)

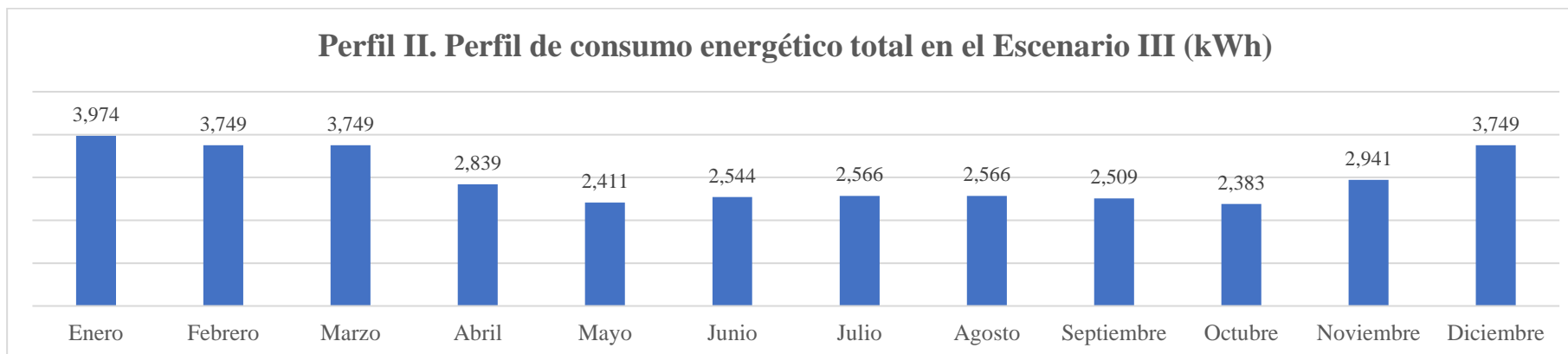


Ilustración 56. Perfil II del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

4. INCLUSIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA VIVIENDA

Hoy en día, el hecho de apostar por fuentes de energía renovable se convierte en prácticamente una obligación para cada país y para cada ciudadano en particular. Desde la aparición de los objetivos de desarrollo sostenible, los países promueven medidas para que sus ciudadanos puedan adoptar fuentes de energía limpias y renovables y, de esta manera, aportar individualmente su granito de arena en la lucha contra el cambio climático y la precariedad de recursos. En este sentido, la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes de energía renovable más potentes y consolidadas en nuestro país (Iberdrola).

Siguiendo con la máxima de reducir o eliminar los gastos energéticos en la vivienda objeto de estudio, tal y como se ha venido comentando en los apartados introductorios, uno de los gastos más notorios en la vivienda es el gasto en electricidad. Pues bien, en una vivienda con unas características que, a priori, parecen idóneas para la instalación de energía solar fotovoltaica, se trata casi de una obligación el hecho de contar con esta tecnología. Esto es así no solo por el hecho de ayudar al desarrollo sostenible y aportar el granito de arena a la sociedad, sino porque además supone un ahorro económico muy grande para los propietarios del inmueble.

En el capítulo anterior se presentaban escenarios y soluciones en el ámbito de la climatización que ya cumplían con objetivo de conseguir un ahorro económico y energético, gracias a la sustitución del gas natural por otras fuentes de energía mucho más sostenibles y eficientes. Con la inclusión de una instalación de módulos solares fotovoltaicos que permitan a la vivienda el autoabastecimiento eléctrico, dicho ahorro conseguido en el capítulo previo se llega a multiplicar. Es por ello por lo que, aunque la inclusión de paneles solares en la vivienda se podría justificar fácilmente por sí sola, también se trata de un complemento perfecto para las soluciones aportadas en el ámbito de la climatización. No obstante, este punto se tratará de forma complemente independiente al apartado de la climatización. Hace falta recalcar que la unión de todas las soluciones del inmueble se realizará en el próximo capítulo.

La realización de este capítulo se dividirá en dos partes. La primera de las partes introducirá el mundo de la energía solar fotovoltaica. Dentro de este apartado, en primer lugar, se definirá de manera precisa en qué consiste la energía solar fotovoltaica. Posteriormente, se demostrará el grado de consolidación y de importancia que tiene este tipo de energía renovable en nuestro país. Por último, se definirán los pros y contras intrínsecos de este tipo de energía. Todo ello servirá para poder avalar la realización de este cambio en la residencia. Con todo este contexto bien entendido, ya se estará en disposición de realizar el segundo apartado de este capítulo, que consistirá en el diseño de la instalación objeto de estudio. Dentro de este apartado, en primer lugar, se demostrará la idoneidad de la vivienda para albergar este tipo de instalación. Posteriormente, ya se estará en disposición de definir exactamente los componentes de las instalaciones solares fotovoltaicas para, finalmente, poder dimensionar y elegir la instalación que mejor se adapte a las características de la demanda y de la vivienda.

4.1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN A LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El objetivo de este apartado introductorio es entender bien el funcionamiento de esta tecnología, así como aportar datos objetivos y subjetivos que avalen su introducción en viviendas unifamiliares como la que es objeto de estudio.

4.1.1. DEFINICIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

De todas las energías disponibles y renovables, la energía solar es una de las más avanzadas y estudiadas en nuestra sociedad y en nuestro país en concreto (Hernández, 2011). Esto es así porque se trata de una energía totalmente limpia y ampliamente disponible, la cual no necesita ningún tipo de reacción química, ni genera ningún tipo de residuos. La energía que transmite electromagnéticamente el Sol, en contacto e interacción con la materia, se transforma en otros tipos de energía. En otras palabras, la radiación solar se utiliza para generar o bien calor (energía solar térmica), o bien electricidad (energía solar fotovoltaica). Aunque la energía solar térmica tiene una gran cantidad de aplicaciones, incluso también en viviendas – para calentar agua, por ejemplo – en este trabajo únicamente se hará énfasis en la energía solar fotovoltaica.

Tal y como su propio nombre indica, la energía solar fotovoltaica consiste en la captación de los fotones del sol, para su posterior utilización como fuente de energía en forma de electricidad. Lo que se hace realmente esta fuente de energía renovable e inagotable es aprovechar la radiación electromagnética del Sol, gracias a materiales capaces de absorber fotones y liberar electrones, generando de esta manera una corriente continua que posteriormente tendrá que ser convertida en alterna para su utilización y aprovechamiento (IDAE, 2009).

Por tanto, uno de los aspectos más claves e importantes en el aprovechamiento de este tipo de energía es contar con una radiación solar adecuada y suficiente, que permita transformar dicha radiación en energía utilizable en forma de electricidad. La idoneidad para la instalación de módulos fotovoltaicos dependerá del valor de radiación global que estos sean capaces de captar. Tal y como se muestra en la Ilustración 57, el valor de radiación global total viene dado por la suma de la radiación solar directa, la radiación solar difusa (lo cual demuestra que los días no soleados también es posible captar algo de energía) y la radiación reflejada (De la Cruz y Boza, 2020). Con estos conceptos y teniendo en cuenta otros factores como ángulos de inclinación, etc., se obtiene el término de irradiancia solar, que se define como el término instantáneo de potencia luminosa recibida en un metro cuadrado de área (W/m^2).



Ilustración 57. Tipos de radiación solar. (Fuente: El Foro Verde)

Siguiendo con el llamado “efecto fotovoltaico”, la captación de los fotones de luz es labor de las células fotovoltaicas, las cuales se agrupan entre sí para formar los módulos fotovoltaicos, mejor conocidos como paneles o placas solares. Es dentro de estos módulos donde la propia radiación solar se convierte en corriente continua (CC). Posteriormente, se utilizan inversores fotovoltaicos para convertir CC en corriente alterna (CA). A continuación, en la Ilustración 58 se muestra un esquema sencillo del funcionamiento.

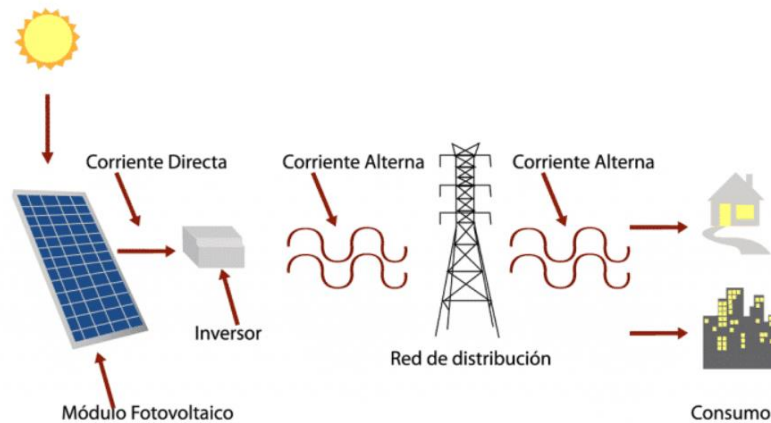


Ilustración 58. Esquema básico de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red. (Fuente: SocialEnergy)

Una vez se convierte la energía solar en CA solo hay dos opciones. Por un lado, se puede almacenar dicha energía en baterías, lo cual es común de sistemas aislados que no están conectados a la red. Por el otro lado, la energía se puede utilizar directa e instantáneamente para diversas aplicaciones, normalmente conectándose a la red de distribución, como es el caso de la Ilustración 58. En el caso de la vivienda objeto de estudio, la instalación se conectará a la red de distribución y, probablemente, no contará con baterías de almacenamiento inicialmente por el alto coste que supone, pero este hecho será discutido más adelante.

Entre las aplicaciones que tiene la energía solar fotovoltaica, se pueden encontrar desde las más simples como son los relojes solares o las calculadoras, hasta las más complejas, como son las grandes plantas de generación eléctrica o los sistemas de alimentación de satélites artificiales. Además, hoy en día cada vez están apareciendo más y más nuevas formas energía fotovoltaica revolucionarias que permiten aprovechar e incorporar esta energía en todos los ámbitos de la vida y de la naturaleza y que, a la vez, permiten luchar contra las principales desventajas de la tecnología fotovoltaica.

De este modo, por ejemplo, se están empezando a ver árboles solares en las ciudades que se integran perfectamente con el mobiliario urbano, plantas fotovoltaicas acuáticas con mejores eficiencias que las terrestres, o células solares en tándem que aprovechan mejor las distintas longitudes de onda de la radiación solar. También, se han hecho avances revolucionarios en campos como la agrofotovoltaica, que permite crear sinergias entre la agricultura y la captación de la luz del sol, o en el mundo de Internet, donde el IoT (Internet of Things) está empezando a utilizarse para optimizar las instalaciones fotovoltaicas. Aun así, la aplicación más común de la energía solar fotovoltaica y la cual es objeto de estudio, es la de las instalaciones fotovoltaicas en tejados de los edificios, que se conectan a la red y utilizan la energía instantáneamente.

4.1.2. SITUACIÓN GLOBAL Y NACIONAL DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

De todas las fuentes de energía renovable que existen, la energía solar fotovoltaica es la que mayor potencial productivo tiene. Esto es así porque la energía que el Sol proporciona y que va a seguir proporcionando a largo plazo es prácticamente infinita. De hecho, la producción total de energía en el mundo se podría cubrir fácilmente aprovechando únicamente una pequeña porción de toda la luz del Sol que llega a la superficie de la Tierra. Esto demuestra que, aunque esta tecnología está muy avanzada, todavía tiene grandes retos por delante y un potencial de crecimiento muy grande. Por el momento, las previsiones según un informe de la IRENA (Agencia Internacional de la Energía Renovable) que se publicó en 2019, en año 2050 se podría llegar a abastecer un 25% de la demanda total mundial de electricidad simplemente con energía fotovoltaica, lo cual es una cifra 10 veces mayor a la energía fotovoltaica generada en el año 2016.

Con el objetivo de cumplir con los acuerdos firmados en el tratado de París y llevar a cabo la deseada transición energética, los distintos organismos, asociaciones y países están impulsando medidas que favorecen la adopción de las energías renovables en general, y de la energía solar fotovoltaica en particular. De hecho, gracias a ello se están generando economías de escala que permiten reducir considerablemente el precio de las instalaciones solares fotovoltaicas. Estas economías de escala están permitiendo que la fotovoltaica este creciendo al ritmo deseado. Según la IRENA, en el año 2021, la potencia fotovoltaica acumulada llegaba a los 942 GW, instalándose ese mismo año 175 GW en todo el mundo. El país que lidera ambos ránquines (potencia acumulada y anual instalada) es China, seguido de Estados Unidos (Barrero, 2022).

Según el informe de la IRENA citado en el párrafo anterior, en 2021, España se situaba en el puesto 7 en potencia instalada durante el año 2021 con 4,9 GW, y en el puesto número 9 en potencia acumulada, con 18,5 GW. Es decir, la potencia que se instaló en 2021 suponía un cuarto de la potencia total instalada históricamente, lo cual demuestra el enorme crecimiento en nuestro país. Esto es fruto de las políticas de ayuda a las energías renovables y de las condiciones idóneas de Sol que se dan en España para la captación de energía solar fotovoltaica. En la Ilustración 59 se puede apreciar la posición privilegiada que tiene España dentro del mundo en cuanto radiación solar se refiere.

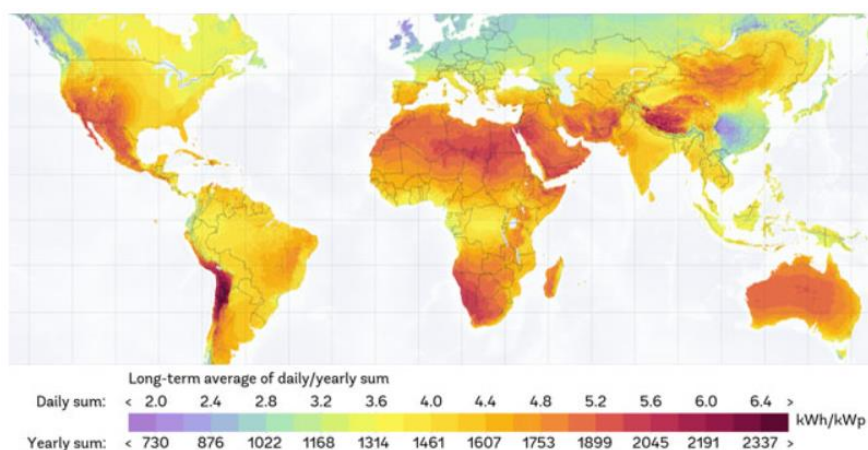


Ilustración 59. Cartografía de la radiación solar mundial. (Fuente: Global Solar Atlas)

El mix energético español para la producción de electricidad a principios de siglo únicamente contaba con un 5% de energías renovables. Sin embargo, a día de hoy, según lo recogido en el informe anual “Avance del informe del sistema eléctrico español 2021” de la REE (Red Eléctrica de España), en el año 2021 se alcanzó el récord histórico en la producción de energías renovables, alcanzando el 46,7% de la generación eléctrica. Dentro de este mix, la energía eólica sigue siendo la líder, acaparando un 23,3 % de la producción, mientras que la fotovoltaica sigue creciendo con un mix del 8% sobre el total. A continuación, en la Ilustración 60 se muestra la evolución de la generación fotovoltaica en España, y la evolución del mix energético español en los últimos 5 años (2018-2022).

Del 2018 al 2022

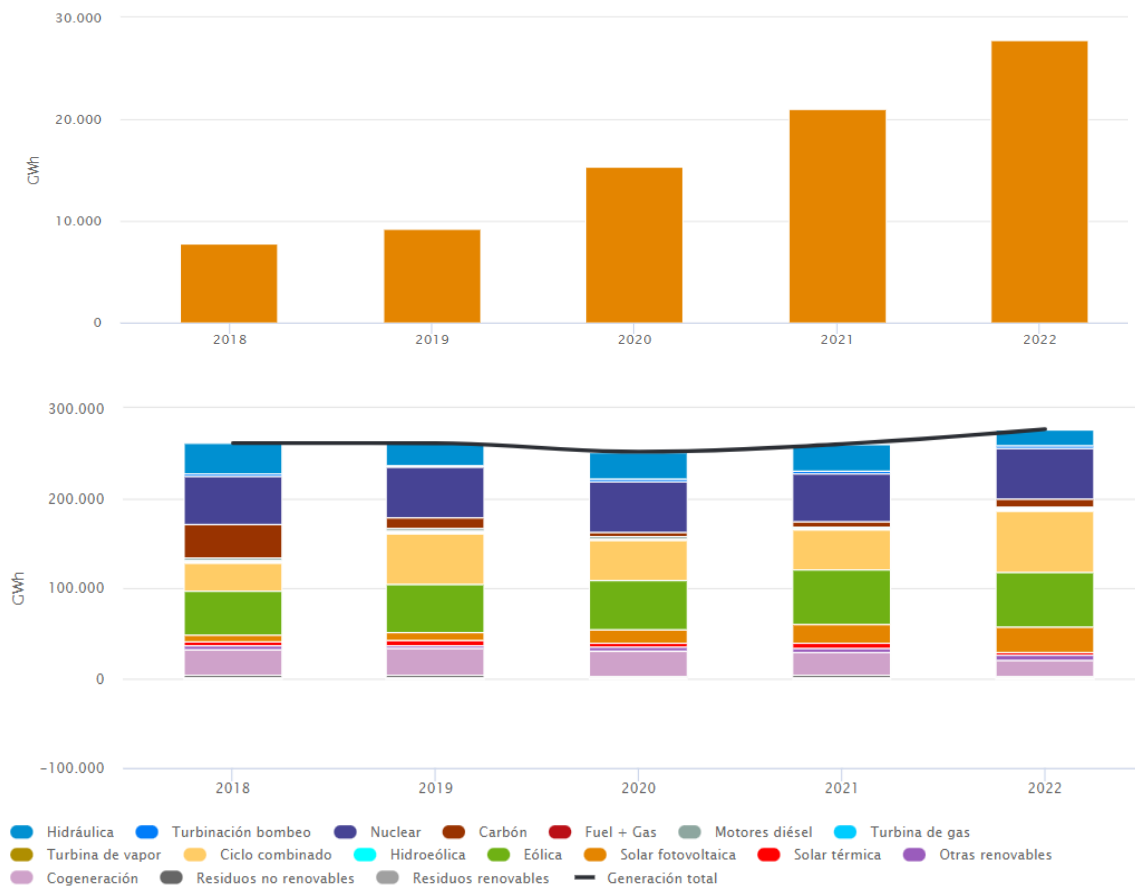


Ilustración 60. *Mix energético de generación de electricidad en España. (Fuente: REE)*

Lo que se consigue demostrar con este análisis de la situación global y nacional de la energía solar fotovoltaica es que esta tecnología ha venido para quedarse. Cada año, la potencia instalada sigue creciendo a niveles agigantados y la energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa fiable y consolidada a la hora de generar electricidad, tanto a gran escala como a escala pequeña, como es el caso de este proyecto. Además, gracias a las ayudas por parte del gobierno (nuevos dictados del RITE que incitan al autoconsumo y la eliminación del llamado “impuesto al Sol”) y a las economías de escala generadas, los costes de los paneles siguen bajando, y las amortizaciones de las inversiones en instalaciones fotovoltaicas se recuperan mucho más rápido.

4.1.3. PROS Y CONTRAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Aún con todo lo comentado en el apartado anterior en relación con el crecimiento y consolidación de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial y nacional, es necesario crear una lista de pros y contras de esta tecnología y de su inclusión en la vivienda. Aunque ya se han ido comentando la mayoría de ellos a lo largo del trabajo en general y de este capítulo en particular, en este apartado se resumirán y resaltarán tanto los puntos débiles de este tipo instalación renovable, de manera que se interioricen y sirvan de contrapartida con la larga lista de beneficios que tiene la tecnología y su inclusión en el inmueble que es objeto de estudio. Esto servirá para demostrar tanto la necesidad como la idoneidad de la vivienda para albergar una instalación solar fotovoltaica.

4.1.3.1. Críticas y riesgos de la fotovoltaica

Aunque son pocas y todas presentan solución, entre las desventajas con las que cuentan las instalaciones fotovoltaicas, se van a destacar las explicadas a continuación. Dichas desventajas se han ordenado de mayor a menor trascendencia, siendo las dos primeras las más importantes con mucha diferencia.

- **Producción no constante:** El mayor problema derivado de la energía solar fotovoltaica es el hecho de que necesitan el Sol para funcionar. De este modo, en lugares en los que hay pocas horas de luz y de Sol radiante esta tecnología no es viable, dado que los inversores necesitan unos mínimos de energía para poder funcionar correctamente. No obstante, el principal problema derivado de esta desventaja es el hecho de que, normalmente, cuando mayor generación eléctrica es necesaria es en las horas nocturnas, donde las luces están encendidas, así como los aparatos de calefacción. Así, la producción de electricidad está muy descompensada a lo largo de las 24 horas día, dando lugar a excedentes en las horas de luz y a la necesidad de tirar de la red en los momentos en los que no hay luz o en los días en los que el Sol no aparece.
- **Elevados costes de almacenamiento que impiden el autoconsumo:** El problema comentado en el punto anterior sería fácilmente resoluble si se contase con sistemas de almacenamiento de energía que permitieran guardar la energía generada durante las horas de luz. No obstante, el precio de estos sistemas de almacenamiento es tan caro que únicamente se recomienda para casos muy concretos, en los que no es posible conectarse a la red eléctrica. A día de hoy, por regla general, sigue siendo mucho más rentable tirar de la red en los momentos sin generación que contar con sistemas de almacenamiento. Es por esta razón por la que llegar al autoconsumo y a un consiguiente gasto nulo en electricidad sigue siendo muy difícil, al menos con las condiciones solares de Madrid.
- **Elevado coste inicial:** La elevada inversión inicial necesaria para llevar a cabo la instalación fotovoltaica es uno de los factores que más echa para atrás a la hora de tomar la decisión de tomar esta alternativa. Además, aunque hay economías de escala y el coste se ha reducido considerablemente, hay cierta volatilidad con el precio de los módulos, fruto de los precios de las materias primas (polisilicio, vidrio y aluminio) y los costes logísticos de estos mismos. No obstante, como se ha

venido comentando, existen ayudas y subvenciones por parte del gobierno que permiten abaratar el desembolso inicial. Además, dados los altos precios de la red eléctrica, los períodos de amortización se están acortando en gran medida.

- **Necesidad de espacio y aspecto:** Otra crítica que tiene la energía fotovoltaica, sobre todo en el apartado del autoconsumo para viviendas unifamiliares, es el hecho de que necesita un tejado con las condiciones adecuadas de sustentación, de orientación y de espacio para albergar los módulos solares. De este modo, no es apto para todo el mundo y, para aquellos que sí que es apto, muchas veces no se quiere empeorar el aspecto de la vivienda con elementos que afeen la estructura. No obstante, la sociedad cada vez está más acostumbrada al aspecto de los paneles y esto está dejando de ser un problema.
- **Huella de carbono:** Aunque se presupone que se trata de una energía completamente limpia y renovable, el proceso de fabricación y transporte de los paneles solares sí que genera cierta contaminación. Sin embargo, todos estos procesos se están mejorando de manera considerable, utilizando fuentes de energía de origen fósil.

4.1.3.2. Beneficios globales de la fotovoltaica

Como se ha visto en el punto anterior, solo las dos primeras críticas realizadas tienen una trascendencia importante y presentan inconvenientes reales en el desarrollo de esta tecnología a largo plazo. No obstante, ambas críticas, las cuales están muy relacionadas entre sí, no son, ni mucho menos, condición suficiente para impedir que la fotovoltaica siga desarrollándose. Aunque la producción no sea constante y el almacenamiento sea poco viable económicamente, hay tantas ventajas competitivas, económicas y medioambientales de la energía solar fotovoltaica, que la convierten como una opción irrevocable en las viviendas unifamiliares con espacio suficiente. Estas ventajas, la mayoría de las cuales ya han ido apareciendo a lo largo del capítulo, se pueden resumir a continuación en los siguientes puntos:

- **Autosuficiencia y reducción/eliminación de costes energéticos:** El hecho de contar con una instalación de placas solares fotovoltaicas en una vivienda unifamiliar hace que la dependencia de la red eléctrica baje considerablemente. Aunque, tal y como se ha venido comentando, llegar al autoconsumo es tarea muy difícil, las instalaciones se diseñan de tal manera que este sea el objetivo. Además, teniendo en cuenta la situación geopolítica existente y las tarifas de la electricidad tal y como están, el hecho de poder reducir al máximo el consumo de la red permite rebajar enormemente los gastos energéticos en la vivienda. Teniendo en cuenta que este es el principal objetivo del proyecto en cuestión y que, en los momentos de producción excedente, esta energía devuelta a la red es remunerada, parece imposible no plantearse su introducción en el inmueble.
- **Energía limpia y no contaminante:** Realmente, cualquier solución que conlleve la autosuficiencia energética y que permitiese rebajar los costes energéticos sería una solución muy válida para la mayoría de la población. Pero si a esto se le suma el hecho de que la energía solar fotovoltaica es una energía

100% renovable y respetuosa con el medioambiente, que permite luchar contra el cambio climático y se alinea con el desarrollo sostenible, parece claro todo aquel que tenga la posibilidad de instalarlo en su vivienda, debería hacerlo instantáneamente.

- **Asentada y crecientemente competitiva:** El análisis mostrado en apartado 4.1.2 sobre la situación global y nacional de la fotovoltaica ha permitido demostrar el hecho de que se trata de una fuente de energía completamente consolidada y que, además, no para de crecer. Esto es fruto de lo discutido en el punto previo sobre el hecho que son instalaciones energéticas autosuficientes y no contaminantes. Al fin y al cabo, con ventajas tan grandes como las que presenta la fotovoltaica, es lógico el hecho de que son cada vez más las viviendas que optan por esta solución en sus tejados.
- **Subvenciones por parte del gobierno y rápida amortización:** Siguiendo con la discusión del punto anterior, se trata de una energía que, aunque está muy consolidada, se encuentra en plena expansión. Es por esta razón por la que el gobierno de España sigue ofreciendo subvenciones y ayudas a la puesta en marcha de este tipo de tecnologías mediante el programa llamado “Next Generation”. Es por esta razón por la que es el momento perfecto para llevar a cabo un proyecto de este tipo. Este hecho, sumado a los elevados costes de la red, permiten la recuperación de la amortización muy rápidamente
- **Fuente de energía inagotables y altamente disponible:** Como se ha introducido en el epígrafe 4.1.2 la energía solar fotovoltaica es la que mayor potencial productivo tiene. La radiación solar que llega a la superficie terrestre es tal que, con aprovechar simplemente una mínima parte de ella, seríamos capaces de abastecer energéticamente al planeta entero. Además, supone una solución completamente estable y viable a largo plazo, dado que el Sol – y su radiación – no van a desaparecer ni en el corto, ni en el largo plazo.
- **Facilidad de instalación, durabilidad y bajos costes de mantenimiento:** Las instalaciones solares fotovoltaicas en los tejados de las viviendas son muy fáciles, rápidas y no tienen ningún tipo de perjuicio para los inmuebles. Su mantenimiento es muy sencillo, o casi inexistente, pues solo requieren de ser limpiados una vez al año. Además, actualmente, se asegura que la vida útil de los paneles es como mínimo, de 25 años, aunque puede llegar a ser mucho más larga.
- **Otras:** La realidad es que la lista de ventajas que se podría realizar es casi interminable, pero las más importantes ya han sido mencionadas. Otros beneficios que tiene la energía solar fotovoltaica es que los paneles son reciclables; que permite crear un consumo consciente; que se trata de una industria y un nicho genera empleo, riqueza y oportunidades a nivel mundial; que no genera ningún tipo de ruido o contaminación acústica; y que es una tecnología que cuenta con gran versatilidad y flexibilidad, dado que permite añadir o eliminar módulos para adaptarse a las necesidades de la demanda.

4.2. **DISEÑO DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE LA VIVIENDA**

Una vez han quedado demostradas las virtudes que tiene esta tecnología a nivel general, y para su aplicación en viviendas unifamiliares en particular, es momento de diseñar la instalación fotovoltaica de la vivienda. Para ello, primero se demostrará que la vivienda cuenta con las necesidades y las características adecuadas para albergar esta tecnología conforme a los requisitos establecidos. Posteriormente, se hará un repaso de todos los componentes utilizados hoy en día en este tipo de instalaciones, para así poder tomar la decisión adecuada en cuanto a los componentes que estarán presentes en la instalación objeto de estudio. Por último, se realizará el dimensionado de la instalación, calculando inversión, ahorro y producción de la instalación en cuestión.

4.2.1. **IDONEIDAD DE LA VIVIENDA PARA ALBERGAR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Que el inmueble cuenta con las necesidades adecuadas de instalar paneles solares fotovoltaicos es un hecho en el que no hace falta reincidir. Precisamente, la razón de ser de este proyecto es el hecho de tratar de eliminar o resolver los altos gastos energéticos mediante una solución alineada con el desarrollo sostenible. Además, todos los escenarios que se han diseñado en el capítulo anterior sobre la climatización se benefician extraordinariamente de la inclusión de módulos solares fotovoltaicos en la vivienda. Por tanto, ha quedado claro a lo largo del transcurso del trabajo que la vivienda cuenta con la necesidad imperante de una solución como la fotovoltaica.

De este modo, lo que hay que ver en este momento es si la vivienda y, sobre todo, su tejado, es idóneo para albergar la instalación. Aunque, como se ha demostrado, prácticamente todas las viviendas unifamiliares existentes podrían beneficiarse de la fotovoltaica, la realidad es que no todas han sido pensadas o diseñadas en un principio para ello. Los factores que deben cumplirse son los siguientes:

- **Superficie mínima del tejado:** Se suele precisar de una superficie mínima de 20 m² para la instalación de paneles solares en el tejado. Cuando la demanda es más grande, como probablemente sea el caso de estudio, lo normal será precisar de 40 m², o incluso más, aunque esto se dimensionará en apartados posteriores. En el caso del inmueble de Montepíncipe, la superficie total del tejado en las 4 direcciones cardinales es de unos 400 m².



Ilustración 61. Vista en planta de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia vía Google Earth)

- **Orientación:** Los paneles deben estar orientados al sur que es donde más horas de luz se reciben. Tal y como se aprecia en la Ilustración 61, aproximadamente un tercio del tejado se encuentra apuntando en dirección sur. Dado que tiene forma de trapecio con una parte que no presenta inclinación, la vivienda cuenta con exactamente 100 m² útiles para albergar paneles en su tejado, que sería más que suficiente para paliar la demanda, e incluso devolver a la red.
- **Inclinación del tejado:** La inclinación idónea de las placas para captar la radiación solar óptima depende de la latitud de la vivienda. Una buena aproximación según los expertos en la materia suele ser que la inclinación óptima viene dada por la Ecuación 1. Teniendo en cuenta que la latitud de la vivienda es de 40,4°; la inclinación óptima será de 30°, que coincide exactamente con la inclinación del tejado en cuestión.

Ecuación 1. Inclinación idónea de los módulos en función de la Latitud (Fuente: Rodríguez, E)

$$\beta(\text{inclinación}) = \phi (\text{latitud}) - 10^\circ$$

- **Estado y tipo de teja:** Tras unos estudios realizados por empresas expertas en el tema, se ha concluido que el estado del tejado y sus tejas de pizarra son completamente compatibles con una instalación de módulos fotovoltaicos. Además, no hay elementos cercanos que aporten sombras a la futura instalación. Por tanto, se puede concluir que la vivienda – y su tejado – son completamente idóneos para albergar una instalación fotovoltaica.

4.2.2. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED

Una vez demostrado que la vivienda cumple con todos los requisitos para albergar una instalación de paneles solares y que esta es precisamente la mejor solución para el estado actual de la vivienda, es momento de definir exactamente cuáles son los componentes de las instalaciones fotovoltaicas en viviendas unifamiliares. De esta manera, posteriormente se podrá proceder al dimensionamiento y elección de la instalación que más se adecúa a las características de la vivienda.

Pues bien, como se ha introducido en el apartado 4.1, las células solares son las encargadas de captar la radiación solar y convertirla en corriente continua. Estas células se agrupan entre sí en módulos fotovoltaicos de potencia variable en función de las características y número de células que contienen. Por último, se utilizan inversores para convertir la corriente continua en corriente alterna (que suele ser monofásica para viviendas unifamiliares). Realmente, aparte del cableado, interruptores automáticos, etc., los cuales corren a cargo de la empresa instaladora, esos son los elementos fundamentales por decidir y dimensionar en la instalación en una vivienda unifamiliar como esta. No obstante, también se va a dedicar un pequeño epígrafe a las baterías de almacenamiento y su posible inclusión en el inmueble.

4.2.2.1. Células solares y módulos fotovoltaicos

Las células solares – también denominadas celdas solares – son las encargadas de utilizar la energía luminosa para crear una corriente eléctrica de tipo continuo. Estas se agrupan entre sí dentro de paneles o módulos fotovoltaicos para crear una suma suficiente de electricidad que sea capaz de abastecer las necesidades en cuestión. Los paneles estándar utilizados con fines residenciales suelen contar 60 células, aunque también se ven paneles de 72 celdas, o incluso de 144 cuando la célula es partida (72x2). A continuación, en la Ilustración 62, se muestra el aspecto de una célula a la izquierda y, a la derecha, se muestra el aspecto de un módulo formado por la agrupación de celdas.



Ilustración 62. Celda solar vs panel fotovoltaico. (Fuente: Iberdrola)

4.2.2.1.1. Clasificación en función del material utilizado

Las células más utilizadas a día de hoy son las células de silicio, no obstante, poco a poco están apareciendo otros materiales que presentan mejores eficiencias, aunque todavía a costes muy altos. En función del material utilizado para la célula, los paneles solares – o las celdas – se pueden clasificar en:

- **Células de silicio monocristalinas:** Reciben este nombre porque solo poseen un único cristal de silicio alineado. La perfecta alineación de los átomos en su interior que favorece el flujo de los electrones generados debido al efecto fotovoltaico permite generar mayores rendimientos que las demás células fabricadas a partir de Silicio. No obstante, al requerir de procesos más especializados para su fabricación, su coste es mayor y, además, no están preparadas para el sobrecalentamiento.
- **Células de silicio policristalinas:** A diferencia de las monocristalinas, estas se fabrican fusionando muchos fragmentos de cristales de silicio. Esto provoca que los fragmentos muchas veces tengan alineaciones diferentes y dificulte el flujo de la electricidad, por lo que los rendimientos son menores. No, obstante, al contrario de lo que pasaba en el caso anterior, estas sí que pueden hacer frente al sobrecalentamiento y su proceso de fabricación es más simple y resultan una opción más viable económicamente hablando.

- **Células de película delgada:** La principal característica de este tipo de células es que son mucho más delgadas y livianas, que normalmente son flexibles, sin afectar a su durabilidad. De hecho, trabajan muy bien ante agentes externos como la lluvia o el sobrecalentamiento. Estas células se pueden fabricar a partir de distintos materiales: Silicio amorfo, telururo de cadmio, seleniuro de cobre, galio, arseniuro de galio e indio. La principal desventaja que sufren este tipo de células es que presentan una eficiencia bastante menor a los paneles de silicio. Es por esta razón que no se suele utilizar para hogares y empresas.

- **Células a tener en cuenta para el futuro:** Dentro de este punto se van a incluir dos tipos de células que de momento no están ampliamente disponibles para el mercado por sus altos costes y bajo grado de desarrollo, pero que probablemente marquen el futuro de esta tecnología en los años venideros.
 - **Células orgánicas:** Tienen características muy similares a las de película delgada en cuanto flexibilidad y durabilidad, pero con la ventaja de que pueden llegar a ser transparentes, lo que supondría un cambio en la industria si se utilizasen como ventanas. Están fabricadas a partir de materiales a base de carbono, por eso se las llama también “células solares de plástico.

 - **Células de perovskita:** Se denomina así a todas las células que están hechas de la misma composición que el que el óxido de calcio y titanio, que se parece mucho al silicio, pero con las cualidades de las de película delgada. Su principal virtud es que los costes de producción son relativamente bajos y tienen un potencial de eficiencia muy alto.

4.2.2.1.2. *Otras características de las células y de los módulos fotovoltaicos*

La principal clasificación que se puede hacer en el ámbito de las celdas y de los módulos fotovoltaicos es el del tipo de material utilizado. No obstante, con los avances de la técnica, hay otras características o atributos que se le puede añadir a los paneles solares con el fin de mejorar la eficiencia o la resistencia respecto a lo que sería un panel solar estándar. Un panel solar estándar es aquel formado por células de cualquier material al uso y que únicamente aprovecha la radiación solar proveniente de una cara del panel. Estas características o atributos en muchos casos no son siempre excluyentes, por lo que hay paneles que podrían combinar algunos de los atributos.

- **Paneles bifaciales:** La principal característica de este tipo de paneles es que son sensibles a la luz solar por ambas caras. Por un lado, del panel captan la radiación directa, mientras que por el otro lado logran captar la radiación reflejada. Esto se consigue gracias a la combinación de silicio amorfo y cristalino y una parte trasera transparente que también deja pasar la luz. Gracias a esto, la eficiencia y los rendimientos de los paneles se logran aumentar hasta en un 30%.

- **Paneles de célula partida:** Estos paneles cuentan con células mucho más pequeñas de lo habitual dado que se parten en dos, como su propio nombre indica.

Las células, al ser más pequeñas, se comportan mejor mecánica y eléctricamente, aumentando sus rendimientos, mejorando su respuesta frente a sobrecalentamientos, aumentando su resistencia frente a microrroturas y alargando la vida útil de los paneles.

- **Paneles con células PERC:** Su significado es *Passivated Emitter Rear Cell* y se implementa en la capa posterior de las células de silicio. Estas células consiguen aumentar su eficiencia reflejando los electrones desde la parte trasera de la placa hacia la parte de adelante, que es donde realmente se produce el efecto fotoeléctrico. Este atributo combina muy bien la célula partida.
- **Paneles con seguimiento solar:** Realmente, en las instalaciones para viviendas unifamiliares, en los que la inclinación es fija y no hay espacio suficiente, esta no suele ser una opción viable. El seguimiento solar es más propio de aplicaciones comerciales o de parques fotovoltaicos a gran escala. La razón de ser del seguimiento solar es para maximizar la captación de la radiación solar en función de los momentos del día y de las épocas del año. De este modo, puede haber seguimiento solar con eje azimutal (alrededor de un eje vertical, para las estaciones del año), con eje horizontal (cambia su inclinación a lo largo del día) o a dos ejes (combinación de las dos anteriores).
- **Otras:** Las características que se han explicado son las más consolidadas y viables económicamente. De hecho, se encuentran presente en muchas de las instalaciones presentes y se pueden combinar bastante bien entre ellos generando efectos multiplicativos en la eficiencia global. No obstante, además de estos tres atributos hay otras características que bien son menos comunes, o bien todavía no están del todo consolidadas en el mercado. Ejemplos de ellos son:
 - **Paneles con células en tándem:** Estos paneles combinan células con distintos materiales absorbentes que permiten captar diferentes longitudes de onda de la radiación solar y así aumentar enormemente la eficiencia.
 - **Paneles con células IBC:** Estos paneles poseen células *Black Contact*, que permiten reducir el efecto de las sombras en la parte frontal de las células.
 - **Paneles con células tipo P y tipo N:** Las células se dopan con boro y fósforo respectivamente, las cuales, en combinación con el oxígeno, evitan el efecto LID, que es una degradación de los paneles inducida por la luz.

4.2.2.2. Inversores fotovoltaicos

El inversor es uno de los componentes más importantes dentro de las instalaciones fotovoltaicas, dado que es el encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna utilizable. Es por esta razón que un mal dimensionamiento del inversor o un fallo en él puede echar por tierra toda la eficiencia de los módulos. Se trata de elementos de pequeño tamaño que oscilan en dimensiones de 50x40 a 70x60 cm. Cuentan datos de potencia máxima de transformación, registro de datos y sistemas de protección en caso

de cortocircuito o fallo en algún componente, que aseguran un riesgo nulo para las personas. La apariencia y funcionamiento de un inversor se muestra en la Ilustración 63.



Ilustración 63. Aspecto de un inversor solar. (Fuente: PNI)

A la hora de tomar decisiones sobre inversores fotovoltaicos lo más importante es hacer la distinción de si el sistema se conectará a la red o si, por el contrario, será una instalación aislada. Para el propósito de este trabajo solo interesan los inversores que se conectan a la red, los cuales únicamente deben permitir adecuar la longitud de onda y la frecuencia de la energía producida por las placas solares a las de la red. De este modo los tipos de inversores fotovoltaicos se explican a continuación. La elección entre unos y otros dependerán de la potencia instalada, de la ubicación de los paneles solares, de la similitud entre paneles, del presupuesto del que se dispone y de la posibilidad de ampliar la instalación en el futuro.

- **Inversores tipo cadena, string o centrales:** Este tipo de inversor se utiliza para transformar la corriente de varios paneles conectados a la vez. Cuando los inversores se conectan en serie y se utiliza un inversor para cada línea de paneles, entonces estos son de tipo string o cadena, mientras que, si se utiliza un único inversor para todos los paneles de la instalación, entonces se trata de inversores centrales. La principal desventaja de este tipo de inversor es que el momento en el que un único panel falla, la generación afecta a toda la instalación. Estos inversores se utilizan en instalaciones no muy grandes en los que todos los paneles cuentan con las mismas características, orientación y capacidad de producción. Son óptimos en instalaciones sin sombras.
- **Microinversores:** Son inversores de menor tamaño que se conectan individualmente a cada módulo fotovoltaico. Es decir, en una instalación con microinversores, cada panel tiene asociado su propio inversor para pasar de continua a alterna. Este modelo ofrece mejores rendimientos y prestaciones, así como un mejor monitorizado que los inversores en cadena, pero supone una inversión más elevada.
- **Optimizadores de potencia:** Se trata de una combinación y optimización de las dos primeras opciones. Se pone un optimizador por módulo que permite que la pérdida de rendimiento de un panel solar no afecte a todo el sistema, pero al fin y al cabo el sistema únicamente cuenta con un inversor tradicional.

4.2.2.3. Baterías de almacenamiento

Las instalaciones fotovoltaicas en viviendas son instalaciones de autoconsumo. Tal y como se ha venido comentando, en este tipo de instalaciones, hay momentos del día en los que la producción excede sobradamente a la demanda, mientras que hay otros – cuando el Sol desaparece –, en los que la situación se invierte. Por tanto, esa energía extra que se produce puede, o bien almacenarse en baterías solares o verse a la red eléctrica.

Tanto los módulos, como los inversores fotovoltaicos son comunes y obligatorios en cualquier instalación fotovoltaica, ya esté o no conectada a la red. En aquellas instalaciones no conectadas a la red, el hecho de contar con baterías de almacenamiento también es obligatorio, pues sino habría momentos del día en los que no se podría bastecer a la demanda. Sin embargo, el hecho de contar con baterías de almacenamiento en instalaciones conectadas a la red es una decisión individual de cada instalación en la que se deben analizar los pros y contras cuidadosamente.

En la Ilustración 64 se muestra el funcionamiento de una instalación con baterías. Tal y como se puede apreciar en dicha figura, en este tipo de instalaciones las baterías de almacenamiento se ubican antes del inversor para guardar la energía en forma de corriente continua. Además, cuentan con reguladores que evitan sobrecargar las baterías. Por lo demás, el funcionamiento es exactamente igual al de cualquier otra instalación fotovoltaica, esté o no conectada a la red de distribución.

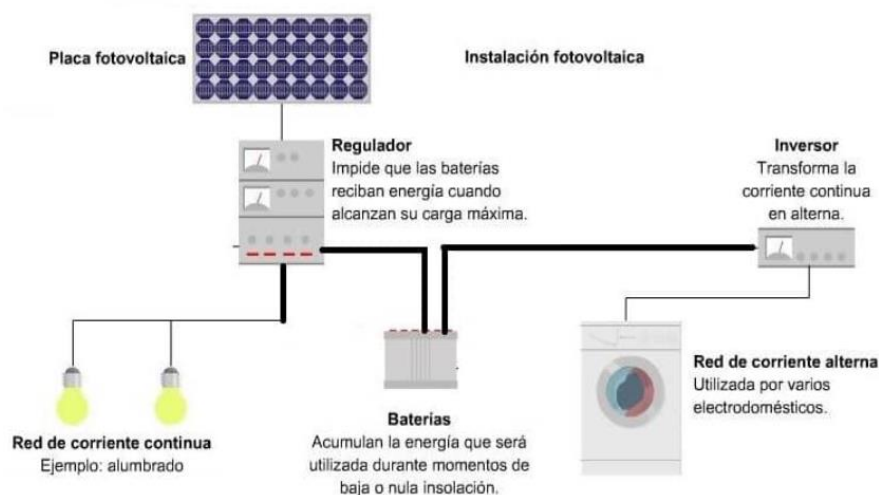


Ilustración 64. Instalación fotovoltaica con baterías de almacenamiento. (Fuente: AreaTecnología)

A día de hoy, son pocas las instalaciones fotovoltaicas en viviendas unifamiliares que se conectan a la red de distribución que cuentan con baterías de almacenamiento solares. Aunque el hecho de contar con baterías permite una independencia energética total y permite crear una instalación de autoconsumo que hace que no se dependa de la red eléctrica, eliminando así los gastos energéticos y la huella ecológica de la vivienda, la tecnología en cuestión de baterías todavía cuenta con un par de puntos muy importantes que hacen que esta tecnología todavía no sea viable o recomendable.

- **Alto coste fruto de tecnología poco desarrollada:** Las baterías solares aún se encuentran en pleno desarrollo y, a día de hoy, todavía no hay soluciones que garanticen una alta capacidad de almacenamiento y una alta fiabilidad, sin pagar por ello un precio demasiado alto. El coste-beneficio de la inversión teniendo en cuenta que en las instalaciones conectadas a la red la producción excedente se remunera, todavía no suele salir rentable. Es muy probable que en un futuro no muy lejano se consigan soluciones mucho más económicas y fiables que permitan el uso de baterías de almacenamiento, pero a día de hoy todavía no es una opción.
- **Mayor complejidad y mantenimiento y menor vida útil:** Al aumentar el número de componentes en la instalación, son más los elementos que pueden fallar en la instalación. Es por esta razón también, por la que el mantenimiento – y sus costes asociados – tendrá que aumentarse de una manera considerable. En la vivienda objeto de estudio interesa que el mantenimiento y sus costes asociados sean los menores posibles. Por último, también relacionado con la complejidad y fruto de mayor número de fallos, la vida útil de la instalación tiende a bajar y, además, la vida útil de las baterías en sí suele ser la mitad que la de los propios módulos.

4.2.3. ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

Una vez ha quedado claro que la configuración que tendrá la instalación es la de una instalación de módulos solares fotovoltaicos con inversores conectados a la red que no van a contar con baterías de almacenamiento, el siguiente paso es elegir exactamente los modelos y las marcas de los componentes que se van a ubicar en el tejado de la vivienda. En realidad, los únicos componentes que hay que elegir y diseñar son los módulos y los inversores fotovoltaicos, pues todos los demás componentes obligatorios según el IDAE, que son el cableado, los soportes, las conexiones a la red, las protecciones, las medidas, las puestas a tierra, los armónicos y las medidas de seguridad, corren a cargo de las empresas instaladoras. De hecho, realmente, para dicha elección, se han tenido en cuenta tanto las características descritas en el epígrafe anterior, como las recomendaciones de los instaladores, que directamente ofrecen soluciones predeterminadas en términos de módulos e inversores.

En este caso, de todas las soluciones que han sido propuestas en la vivienda, la más convincente ha sido la realizada por la empresa líder en el sector fotovoltaico y en materia de climatización denominada ECOPEL. Dicha propuesta pasa por poner módulos fotovoltaicos EX460-480HJT, del fabricante Exiom e inversores fotovoltaicos de la Serie R5-S2, de la marca SAJ. Tanto los módulos, como los inversores elegidos, son suministrados por parte de un mayorista eléctrico denominado Salvador Escoda, ubicado en Madrid. Las fichas técnicas de ambos componentes se muestran en el apartado 8.2.2.2 del Anexo. Sus características más importantes y las razones fundamentales por las que se han elegido se describen a continuación.

4.2.3.1. Módulo fotovoltaico EX460-480HJT

Los módulos fotovoltaicos elegidos están compuestos por células de silicio monocristalino que es la opción que ofrece la mejor combinación de eficiencia junto con resistencia a un precio de lo más razonable. Se han elegido con la tecnología de célula partida que aumenta todavía más sus rendimientos y su resistencia mecánica. Además, son bifaciales al 80 %, permitiendo captar la radiación solar directa y la reflejada por la parte trasera del módulo. Su aspecto se muestra a continuación:

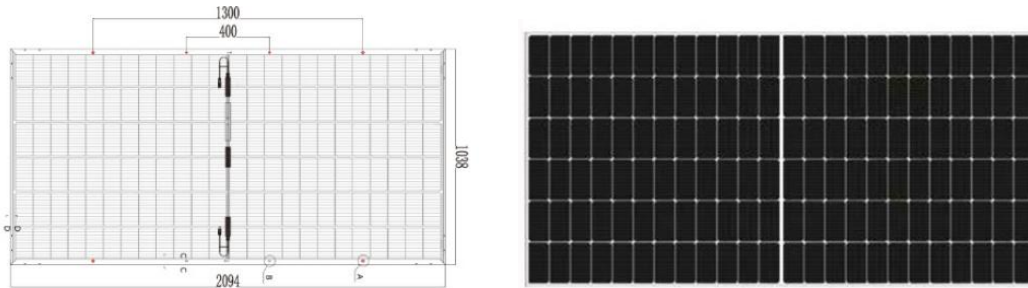


Ilustración 65. Módulos fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)

Al poseer la tecnología de célula partida cuentan con un total de 144 células en el módulo (72 células partidas en 2), tal y como se muestra en la Ilustración 65. Se trata de módulos de tamaño estándar tirando a grande con dimensiones exactas de 2094x1038 mm, lo cual es un aspecto muy a tener en cuenta para cuando se dimensione la instalación. No obstante, como ya se ha indicado, el tejado de la vivienda en principio cuenta con espacio suficiente para albergar instalaciones muy grandes.

Este tipo de módulos ofrecen excelentes rendimientos en días nublados y niebla, dado que captan la radiación difusa de manera extraordinaria. Además, debido a su bajo coeficiente de temperatura, trabajan mejor en climas cálidos, lo cual es bastante compatible con su ubicación. Por último, ofrecen una degradación LID muy baja, con un 12% de degradación de potencia a los 30 años de vida útil. Su gráfica de degradación lineal se muestra en la Ilustración 66.

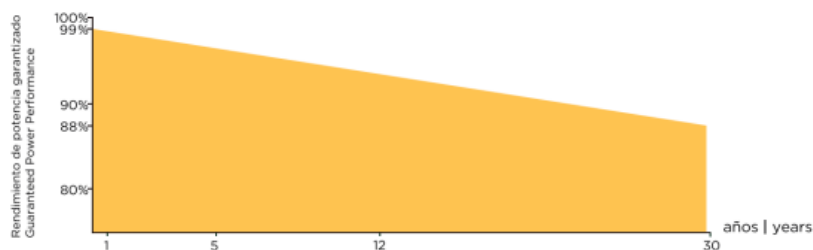


Ilustración 66. Gráfica de degradación lineal de potencia de los módulos fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)

En cuanto a los datos eléctricos del módulo hay distintas alternativas. Según el modelo, la potencia pico oscilará entre 460 y 480 W. Para la instalación objeto de estudio, se han elegido los de máxima potencia (**480 W**), ya que se trata de una instalación grande (teniendo en cuenta que son módulos pensados para viviendas unifamiliares). Con este dato y los que aparecen en el apartado 8.2.2.2 del Anexo, se dimensionará el número de módulos necesario para la instalación en cada uno de los escenarios. Su precio exacto por unidad, sin incluir el IVA, es de **445,00 €**.

4.2.3.2. Inversor fotovoltaico SAJ Serie R5 – S2

A efectos prácticos de la instalación en cuestión, se ha elegido la configuración de inversor central compatible con la red de distribución, por la cual hay un solo inversor (realmente puede haber más de uno, en función de las necesidades de la instalación que serán calculadas más tarde) que transforma toda la corriente continua a corriente alterna. Esta era la configuración más lógica en una instalación como la que hay en cuestión. Además, se diseñará de tal manera que siempre se pueda aumentar la instalación, es decir, asegurando que los inversores tienen la potencia máxima de conversión suficiente. El modelo en cuestión se muestra en la Ilustración 67.



Ilustración 67. Inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda)

Se trata de un modelo de inversor moderno y ligero que no cuentan con transformador interno, por lo que el consumo es extremadamente bajo. Están diseñados específicamente para sistemas residenciales con instalación monofásica para disfrutar de la energía solar y del autoconsumo de una forma eficiente (con rendimientos cercanos al 100%) y cómoda. Además, una de las características más destacables de este inversor es que cuenta con dos MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), que básicamente es un algoritmo matemático que realiza un seguimiento de potencia de la instalación, para conocer siempre cuál es el punto de máxima potencia que se desea convertir. Esta tecnología de conversión es muy utilizada en la actualidad. Lo diferencial de este inversor es que, al contar con dos MPPT, puede maximizar la potencia en dos zonas distintas de paneles, maximizando así el rendimiento de la instalación de manera más notable.

Las características más específicas del modelo en cuestión se encuentran en el apartado 8.2.2.2. En cuanto al tamaño de inversor, es decir la potencia pico del inversor, dependerá en cada caso de las necesidades de la instalación, pues habrá escenarios en los que sea más lógico o económico poner un solo inversor de mayor tamaño, mientras que

habrá otros en los que será mejor opción poner dos de menor tamaño. Tal y como se puede apreciar en las tablas del fabricante, la corriente de entrada en CC se puede elegir entre los 4,5 y los 12 kW, mientras que la corriente de salida en CA se encuentra entre los 3 y los 8 kW. De este modo, siempre y cuando la instalación sea menor a los 12 kW, se utilizará un solo inversor, mientras que si se supera ese umbral se utilizarán dos inversores de menor tamaño. La tabla de precios y de potencias nominales de cada uno de los modelos que se pueden elegir se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. *Tabla de precios y características del inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2. (Fuente: Salvador Escoda)*

<i>Artículo</i>	<i>Potencia Nominal (kWp)</i>	<i>Precio (€)</i>
<i>R5 - 3K - S2</i>	4,5 kW	935,00 €
<i>R5 - 3,6K - S2</i>	5,4 kW	900,00 €
<i>R5 - 4K - S2</i>	6,0 kW	1.045,00 €
<i>R5 - 5K - S2</i>	7,5 kW	1.094,00 €
<i>R5 - 6K - S2</i>	9,0 kW	1.237,50 €
<i>R5 - 7K - S2</i>	10,5 kW	1.400,00 €
<i>R5 - 8K - S2</i>	12,0 kW	1.500,00 €

En definitiva, aunque se trata de inversores de potencia notable, tienen un funcionamiento muy silencioso, por lo que no genera contaminación acústica. Además, requieren de un mantenimiento muy bajo, que se puede hacer de forma remota incluso. Al tratarse de un aparato inteligente, su configuración también se puede realizar de forma remota y se pueden visualizar todos los datos en tiempo real a través de la app. En definitiva, se trata de una opción económica, sencilla y eficiente.

4.2.4. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

Antes de empezar, es necesario comentar que a raíz de la elección de los paneles y los módulos solares por la empresa Ecopel, que está especializada en soluciones de climatización y de instalaciones fotovoltaicas, dicha empresa realizó su propio dimensionamiento y su propia propuesta de presupuesto para las condiciones actuales de la vivienda. En dicha propuesta, la cual se detalla más a fondo en el Anexo del Documento Nº2 de este trabajo, la empresa Ecopel realizó sus propios cálculos de producción prevista y de recuperación de la inversión, llegando a la conclusión de que serían necesarios un total de 24 módulos, con un solo inversor de 12 kW de potencia nominal. Todo ello, incluyendo todos los demás componentes indispensables y los gastos de instalación supondrían una inversión de exactamente 18.000 € (incluyendo IVA). Sin embargo, tal y como se ha venido introduciendo, en este trabajo se llevará a cabo un dimensionamiento propio y la propuesta realizada por Ecopel se utilizará únicamente como referencia.

El dimensionado de las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red se realiza siguiendo las indicaciones y requisitos marcadas por el IDAE (Instituto para la

Diversificación y Ahorro de Energía) en su documento “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”. Esta guía define las especificaciones mínimas que deben cumplir las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de distribución con el fin de asegurar la calidad y el beneficio del usuario. En ella se definen todos los componentes (eléctricos, electrónicos y mecánicos) que tienen las instalaciones, su forma de calcularlos, y la forma de mantenerlos.

A efectos prácticos de la realización de este trabajo lo que interesa dimensionar es el número de módulos y de inversores fotovoltaicos necesarios en la instalación, así como su posicionamiento óptimo y la producción obtenida fruto del diseño que se realice. En este trabajo no se entrará en materia de cableado, tomas a tierra o protecciones, las cuales son más propias de las empresas instaladoras una vez se ha vendido el proyecto. Aun así, si hiciera falta, dicha información podría sacarse del propio IDAE o del REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).

En este apartado en concreto se van a realizar cuatro dimensionados diferentes. Por un lado, se dimensionará una instalación que sea capaz de abastecer las necesidades actuales de la vivienda, como si no se fuese a realizar ningún cambio en la instalación de climatización. Esto puede ser interesante para ver el efecto individual de los paneles solares y será útil en caso de que los cambios en el apartado de la climatización no sean llevados a cabo. Por el otro lado, se dimensionará teniendo en cuenta el exceso de consumo fruto de los tres escenarios estudiados en el apartado de la climatización.

El proceso de dimensionamiento para todos los escenarios será exactamente el mismo, siendo lo único que cambia el consumo de electricidad esperado en cada uno de ellos, lo cual ya ha sido estimado en los capítulos 2.1.2.3 y 3.4. Con dichas estimaciones, se seguirán las recomendaciones del IDAE al pie de la letra para dimensionar el número exacto de módulos y de inversores necesarios, y la producción de electricidad que ese diseño conllevará. Para ello, el criterio será maximizar los ingresos mensuales dados los excedentes que se producen. Finalmente, se realizará un resumen de los KPIs más importantes del diseño llevado a cabo.

De este modo, en primer lugar, se explicará de manera de detallada el proceso de cálculo y los datos de partida necesarios, para finalmente realizar el dimensionado de cada uno de los escenarios (el del consumo actual, más los tres escenarios estudiados en el ámbito de la climatización).

4.2.4.1. El proceso de cálculo

Sabiendo los componentes exactos que se van a formar parte de la instalación (módulos fotovoltaicos EX460-480HJT de 480 W, del fabricante Exiom, e inversores fotovoltaicos SAJ de la Serie R5-S2), de manera esquemática, para llevar a cabo el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica, es decir, para saber cuántos paneles e inversores fotovoltaicos será necesario instalar, se seguirá el proceso marcado por los pasos que se detallan a continuación.

4.2.4.1.1. Obtención de los perfiles de consumo eléctrico mensuales y con discriminación horaria

Los perfiles mensuales de consumo eléctrico de los cuatro escenarios, los cuales son la base del dimensionamiento, ya han sido estimados a lo largo del trabajo en los capítulos 2.1.2.3 y 3.4. A continuación, en la Ilustración 68 se resumen las previsiones de consumo para cada escenario.

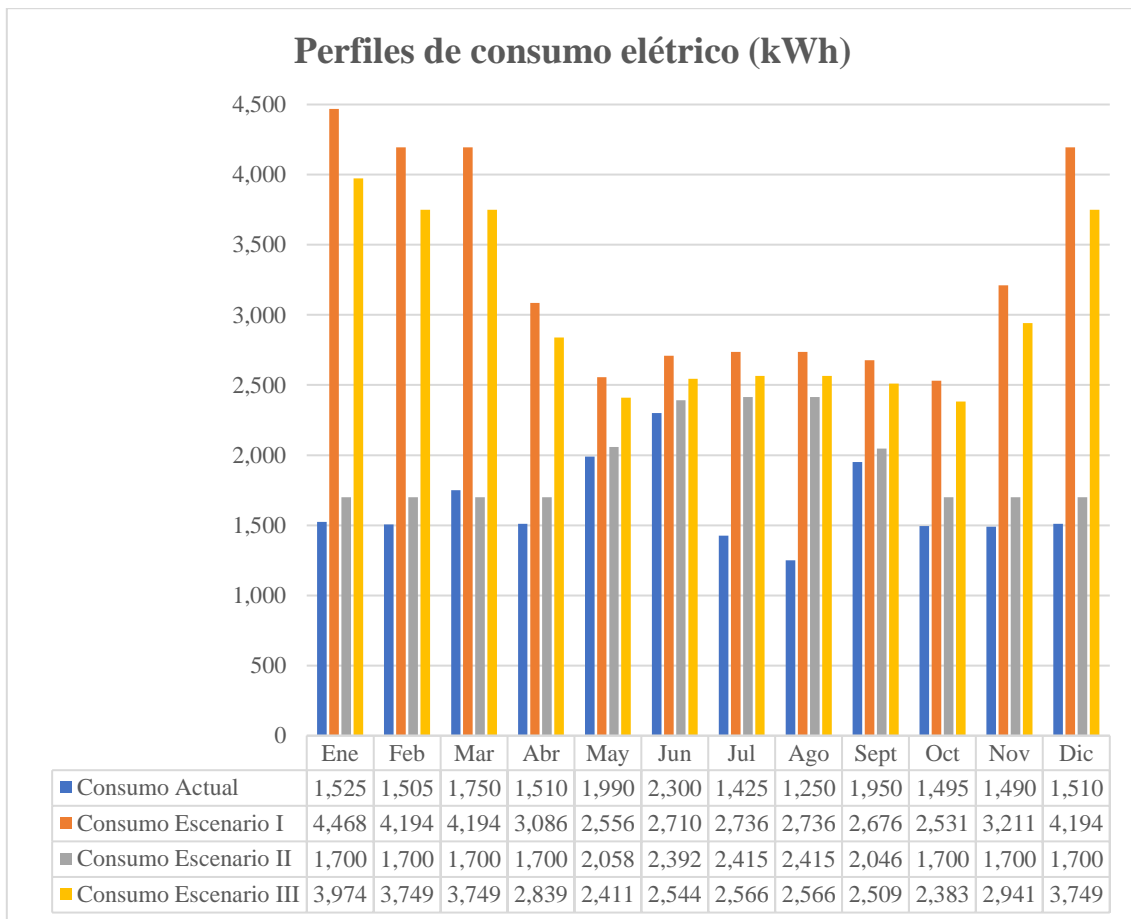


Ilustración 68. Previsiones de consumo eléctrico (kWh) en cada uno de los escenarios. (Fuente: *Elaboración propia*)

Además del consumo eléctrico mensual, también será necesario contar con los hábitos horarios de consumo en cada época del año. Es decir, qué porcentaje del consumo de cada mes coincide con las horas de luz y, por tanto, podrá ser cubierto por la instalación FV. Como en cada uno de los escenarios incluye hipótesis diferentes, estos perfiles horarios serán diferentes en cada uno de los escenarios. Dichos perfiles horarios, creados a partir de hipótesis que ya se han ido repitiendo a lo largo del trabajo, se incluirán directamente en el apartado con la resolución (4.2.4.2).

4.2.4.1.2. Cálculo de la potencia pico según el IDAE

Según el IDAE, la energía solar fotovoltaica producida por el conjunto de paneles en un período determinado (en este caso se tomará mensual) viene dada por la fórmula expresada en la Ecuación 2. La fórmula es válida tanto para obtener el número de módulos necesarios, como para, una vez se tenga el número de módulos y la potencia pico de la instalación, calcular la energía producida por la instalación solar. A continuación, se explican los parámetros (valores fijos) y variables que aparecen en dicha ecuación.

Ecuación 2. Energía producida en una instalación solar fotovoltaica (Fuente: IDAE)

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR}{G_{CEM}} kWh$$

- **Energía producida (E_p):** Para esta primera parte del proceso, en el que el objetivo es conocer la potencia pico de la instalación, la energía producida será un valor fijo. Al fin y al cabo, si se pretende que la producción se ajuste lo máximo posible a la demanda, lo que hay que hacer es igualar los valores mensuales de energía producida por los paneles, a la energía mensual demandada en la instalación, la cual será diferente para cada uno de los escenarios. En resumen, la energía producida cada mes se asumirá igual a la energía consumida procedentes de los perfiles de consumo de cada escenario mostrados en la Ilustración 68.
- **Azimut (α):** La orientación óptima de los paneles siempre es la orientación sur. El ángulo azimutal (α), es el ángulo de desviación de los paneles con respecto a la orientación sur. Este hecho se puede apreciar en la parte derecha de la Ilustración 69. Para el caso objeto de estudio el ángulo azimutal tiene un desvío inferior a 20° sobre la orientación sur como se puede ver en la imagen de Google Earth de la Ilustración 61.

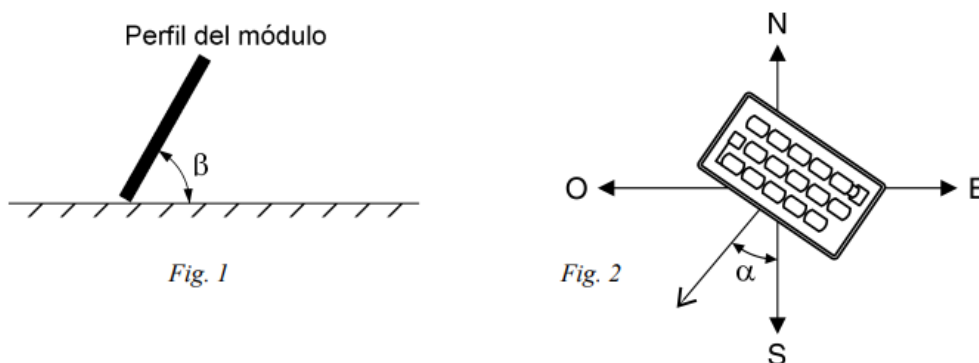


Ilustración 69. Representación del ángulo de inclinación (Fig.1) y del ángulo azimutal (Fig.2) de los paneles solares fotovoltaicos. (Fuente: IDAE)

- **Inclinación (β):** El ángulo de inclinación de los paneles (β) es ángulo que forma la superficie de los módulos respecto al plano horizontal, tal y como se muestra en la Ilustración 69. Aunque hay distintas maneras de calcular el ángulo idóneo, como ya se adelantaba en el apartado 4.2.1, teniendo en cuenta que la latitud del inmueble es de 40,4°; una inclinación de 30° es óptima para la inclinación de los módulos de la vivienda. Por tanto, teniendo en cuenta que tampoco hay sombras en el tejado que puedan inducir a pérdidas, se puede concluir sin necesidad de cálculos, que las pérdidas fruto de la orientación, inclinación y de las sombras se van a encontrar dentro de los límites máximos fijados en el apartado 4 del Pliego de Condiciones del IDAE.
- **Valor medio mensual de irradiación sobre superficie horizontal ($G_{dm}(0)$):** Los valores de irradiación sobre superficie horizontal se obtienen a partir de datos y fuentes que estén reconocidos por el IDAE. Para objeto de este proyecto, dichos datos se han sacado del PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*), que es una base de datos de la UE que permite obtener los datos mensuales históricos de irradiación para cualquier ubicación exacta del mapa de Europa. Los valores de Irradiación sobre plano horizontal se muestran en la Tabla 21.
- **Valor medio mensual de irradiación sobre plano generador ($G_{dm}(\alpha, \beta)$):** Realmente, los valores que interesan para el cálculo de la energía producida por los paneles son estos, que tienen en cuenta el ángulo azimutal y la inclinación. Se trata de una corrección sobre el valor explicado en el punto anterior. Los valores de Irradiación sobre plano generador a 30° de inclinación que utilizarán para el dimensionado de los módulos solares se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Media de Irradiancia mensual de los años 2018 a 2020 sobre superficie horizontal y sobre plano generador inclinado a 30°. (Fuente: PVGIS)

Mes	$G_{dm}(0)$ (kWh/m ²)	$G_{dm}(0^\circ, 30^\circ)$ (kWh/m ²)
Enero	64,72	133,95
Febrero	95,71	154,98
Marzo	123,94	174,02
Abril	154,50	170,54
Mayo	215,19	211,22
Junio	233,70	213,15
Julio	243,23	232,06
Agosto	211,42	224,32
Septiembre	160,91	195,99
Octubre	114,79	161,16
Noviembre	66,41	107,89
Diciembre	60,46	112,71

- **G_{CEM} (relacionado con el término de HSP):** G_{CEM} hace referencia a la irradiancia en condiciones estándar de medida, que es 1 kWh/m² siempre. Realmente, la división de G_{dm}(α,β) entre G_{CEM} hace referencia a las horas solares pico (HSP) mensuales que se tienen en la instalación solar fotovoltaica. Sin entrar en mucho detalle las horas solares pico son las horas (en este caso mensuales) en el que la instalación está trabajando con la potencia pico de los módulos. En este caso, en el que se está trabajando con valores mensuales, HSP coincide con el valor de G_{dm} corregido. Por ello, en mucha bibliografía se encuentra que la fórmula de la energía producida en un período determinado realmente es:

Ecuación 3. Simplificación de la Ecuación del IDAE.

$$E_p = HSP \cdot P_{mp} \cdot PR \text{ (kWh)}$$

- **Performance Ratio (PR):** Hace referencia al rendimiento energético de la instalación, que depende de factores como la eficiencia del inversor, del cableado, de la temperatura, etc. Se suele asumir un rendimiento aproximado del 90%, lo cual coincide con lo estipulado por el fabricante.
- **Potencia pico de la instalación (P_{mp}):** La potencia pico de la instalación será el valor que se quiere despejar de la ecuación. P_{mp} sería la potencia mínima que deberían dar el conjunto de los paneles solares fotovoltaicos elegidos para poder cubrir la demanda en cada mes. Despejando el valor de la potencia pico (P_{mp}) de la fórmula de energía producida sugerida en el IDAE (Ecuación 2), el valor mensual de la potencia pico vendrá dada por la Ecuación 4.

Ecuación 4. Cálculo de la Potencia Pico según el IDAE. (Fuente: IDAE)

$$\text{Potencia Pico Total} = P_{mp} = N \cdot 0,48 \text{ kW} = \frac{G_{CEM} \cdot E_p}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR} \text{ kW}$$

- **Número de módulos (N):** Derivado de la Ecuación 4, si se tiene en cuenta que los módulos elegidos para la instalación objeto de estudio son de 480 W, también se podría sacar el número de módulos necesario en cada escenario de potencia pico máximo con la Ecuación 5. Dado que no puede haber resultados con decimales, el número de módulos resultantes se aproximará siempre a la unidad superior, teniendo siempre una potencia pico final para la instalación que sea múltiplo de 480 W.

Ecuación 5. Cálculo del número de módulos necesarios según el IDAE. (Fuente: IDAE)

$$\text{Número de módulos} = N = \frac{G_{CEM} \cdot E_p}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot PR \cdot 0,48}$$

El resultado de todo el proceso de cálculo del paso previo será una potencia pico (o de número de módulos necesarios para la instalación) diferente para cada mes, dado que los valores medios de irradiación ($G_{dm}(\alpha, \beta)$) y de energía consumida (E_p , en este caso) serán diferentes para cada mes, tal y como se mostraba en la Tabla 21. De este modo, los próximos pasos del proceso de dimensionamiento estarán encaminados en decidir cuál de las doce potencias pico resultantes será la más rentable para la instalación.

Aunque a efectos de este trabajo, a priori, no será un problema, antes de avanzar a los próximos pasos, se podrán descartar aquellas instalaciones que no sean viables en la vivienda por cuestiones de espacio en el tejado. Para ello, habrá que tener en cuenta que la superficie disponible en la orientación sur es de 100 m^2 y que cada módulo ocupa $2,094 \times 1,038 \text{ m} = 2,174 \text{ m}^2$.

4.2.4.1.3. Elección de la potencia pico mediante el método de minimización del gasto eléctrico en relación con la inversión

Por cómo funciona la tarifa eléctrica, la elección de la potencia pico se suele realizar de manera que no haya demasiados excedentes en la producción de electricidad, de manera que el ahorro producido a lo largo del año sea máximo. Aunque para hacer un estudio de rentabilidad total, habrá que analizar todos los gastos e ingresos fijos que se darán de manera anual (gastos de mantenimiento y asegurado, etc.) u ocasional (subvenciones, sustitución de equipos, etc.), para elegir la potencia pico de la instalación, lo más importante es que el futuro gasto mensual de la tarifa eléctrica sea minimizado en relación con la inversión realizada. El objetivo de este apartado es llegar a la construcción de un modelo que permita llevar a cabo esta optimización. El proceso de construcción del modelo se explica a continuación.

A. Funcionamiento de la tarifa eléctrica en España y en la vivienda

La tarifa existente en la vivienda es la tarifa de luz 2.0 T.D, que se caracteriza por tener un término fijo de potencia contratada dividido en dos tramos (punta y valle), y un término variable de energía, en función de la energía que se consuma en el inmueble dividido en tres períodos diferentes. Dentro de este último término se incluyen otro tipo de cargos normativos – como, por ejemplo, el actual tope del gas – que hacen subir el precio de la energía de manera considerable. No obstante, también se pueden añadir términos de compensación debido a la energía devuelta a la red. A estos dos términos, finalmente se les aplica un extra en concepto de servicios y, a todo ello, se le aplica el IVA del 21 %. Los términos de la tarifa se muestran en la Ecuación 6 y se explican detalladamente a continuación.

Ecuación 6. Fórmula para el cálculo de la tarifa eléctrica (Fuente: REE)

$$\begin{aligned} \text{Gasto eléctrico mensual} = \\ [(\text{Término Fijo Potencia} + \text{Término de Energía}) \cdot (1 + 5,11\%) \\ + \text{Servicios Extra}] \cdot (1 + 21\%) \end{aligned}$$

- **Potencia Contratada:** La potencia contratada en la vivienda actual es de 5,00 kW, tanto en horas punta, como en horas valle. No obstante, es posible que este hecho pueda cambiar para alguno de los escenarios, siempre por debajo de los 15 kW máximos que permite la tarifa 2.0 TD. El precio (en €/kW·día) que se paga para horas punta y horas valle es distinto y depende de la compañía. De todos los datos de facturas pasadas desde septiembre de 2021 a julio 2022, se asumirá que el precio para horas punta será de 0,075 €/kW·día para la potencia en horas punta y de 0,015 €/kW·día para la potencia en horas valle.
- **Término de Energía:** Este término será el que más importancia tenga a la hora de elegir la potencia pico de la instalación. Tiene dos partes en la factura, por un lado, la parte del consumo real de la red y, por otro, la parte de compensación por el hecho de producir excedentes.
 - **Consumo de energía de la red:** Esta es la única parte que tiene la actual factura de electricidad de la vivienda, pues ahora mismo todo el consumo de la vivienda proviene de la red. Tal y como se ha venido explicando, el gasto de energía (en €/kWh) tiene tres períodos de consumo obligatorios y el precio es distinto cada hora. Este precio horario es distinto cada día y varía mucho a lo largo del año según la situación geopolítica. De hecho, desde abril de 2022, este término ha aumentado mucho con la entrada en vigor del tope del gas. De este modo, parece que discriminar horariamente no tiene demasiado sentido, ni tampoco parece tener sentido sacarlo de facturas pasadas. Dado que el precio de la energía medio según la REE desde enero a agosto de 2023 fue de **0,15 €/kWh**, este será el precio que se utilizará en este trabajo. La forma de calcular la energía que se consume de la red será explicada en apartados posteriores.
 - **Término de compensación:** El objetivo de poner paneles fotovoltaicos no es minimizar el consumo de la red, sino minimizar la factura eléctrica. Por esta razón, no interesa dimensionar para el mes en el que se necesita una potencia pico más grande, sino dimensionar para aquella potencia en el que esta factura se minimiza en relación con la inversión a realizar. Precisamente, este término de compensación es el que juega un papel fundamental en esa elección. El término de compensación es un “ingreso” en la factura que se percibe por la energía devuelta a la red cuando la producción fotovoltaica es superior a la demanda. La forma de calcularlos se explicará a continuación. No obstante, este “ingreso”, aunque fluctúa, se compensa a un precio más bajo (a una media de **0,05 €/kWh** según la REE), y nunca puede superar al término de consumo. De este modo, la factura de electricidad siempre habrá que seguir pagándola pues lo máximo que se puede ahorrar es el término de energía total.
- **Servicios adicionales e impuestos:** A la suma del término fijo más el variable, se le aplica un impuesto eléctrico del 5,11%. A este subtotal, posteriormente se le suman los importes adicionales de alquiler de equipos contadores y otros asistentes que se asumirán de 1,50 €/mes (sacado de factura pasadas). Por último, a todo ello se le aplica el término de IVA del 21%.

B. Rentabilidad de la inversión fotovoltaica

Una vez entendido el funcionamiento de la tarifa y lo que ello implica, el siguiente paso hacia poder decidir cuál es la potencia pico de la instalación es llegar a una fórmula o modelo que permita maximizar la rentabilidad de la inversión, o lo que es lo mismo, minimizar el gasto eléctrico en relación a la inversión. Para ello se han de tener claros cuáles serán los gastos e ingresos que tendrán lugar a lo largo de la vida útil de la instalación, la cual se supondrá de **25 años**, que suele ser la duración estándar para este tipo de cálculos.

Hay que destacar que el objetivo de este apartado no es el de calcular la rentabilidad total de la inversión, pues eso solo se podrá realizar en el capítulo siguiente, cuando se hayan tenido en cuenta todas las medidas tomadas en cada uno de los escenarios. Este apartado servirá simplemente para conocer los gastos e ingresos de la instalación solar fotovoltaica y poder llegar a un modelo que permita optimizar la potencia pico.

➤ *Gastos:*

- **Inversión:** Es el desembolso inicial a realizar en el año 0 por la compra de los materiales, construcción y puesta en marcha de la instalación. Para ello, habrá que tener en cuenta el precio unitario de los módulos (**445 €**, sin IVA) y de los inversores (Tabla 20), así como los gastos de montaje y puesta en marcha, que correrían a cargo de la empresa Ecopel. Dado que estos ya realizaron un presupuesto, el cual se muestra en el Documento 2 de este proyecto, en el que el precio total por 24 módulos y un solo inversor era de 18.000 €, se pueden asumir que los gastos extra de montaje y puesta en marcha serán de alrededor de **3.000 €**, con el IVA ya incluido. Todo ello se resume en la Ecuación 7.

Ecuación 7. Estimación de la inversión fotovoltaica (Fuente: Elaboración propia)

$$(N_{\text{módulos}} \cdot 445 + \text{Precio inversores}) \cdot (1 + 21\%) + 3.000 \text{ €}$$

- **Tarifa eléctrica:** Es exactamente lo que se ha comentado en el subapartado A de este punto. Será el pago mensual de la electricidad que se dará cada año a lo largo de los 25 años de vida útil. Se espera que vaya aumentando anualmente conforme a la inflación y a la tasa de descuento. En la Ecuación 8 se muestra forma de calcularla.
 - **Potencia Contratada:** En cada escenario la potencia que se contratará en punta y valle será diferente. Se asumirá que el precio para horas punta será de **0,075 €/kW·día** para la potencia en horas punta y de **0,015 €/kW·día** para la potencia en horas valle.
 - **Término de Energía:** Se pagarán **0,15 €/kWh** por la energía consumida de la red, mientras que los excedentes se remunerarán a **0,05 €/kWh**.
 - **Servicios adicionales e impuestos:** Impuesto eléctrico del **5,11%**, servicios adicionales de **1,50 €/mes** y un IVA del **21%**.

Ecuación 8. Gasto mensual en tarifa eléctrica (Fuente: REE)

$$\sum_{i=1}^{12} \left[\left(\text{Término fijo potencia de cada escenario} + \frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \text{Consumo de la red} - \frac{0,05\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \text{Excedentes} \right) \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{€} \right] \cdot (1 + 21\%)$$

- **Gastos propios de la instalación fotovoltaica:** Se van a distinguir dos gastos extra, cuyo valor ha venido dado por Ecopel, la empresa encargada de instalar los paneles solares. Los gastos se darán anualmente e irán creciendo conforme a la inflación.
 - **Gastos de Mantenimiento: 90 € anuales.**
 - **Gastos de Asegurado de la instalación: 90 € anuales.**
 - **Reemplazos:** Dado que la vida útil de los inversores es aproximadamente de unos 10 años, habrá que asumir una inversión extra en concepto de inversores (Tabla 20), que deberá ser ajustado por la inflación, así como cableados y otros reemplazos (se asumirán 1.000 €) en el año 12 (justo en el ecuador de la vida útil).

➤ *Ingresos:*

- **Subvenciones:** Una de las razones por las que era un buen momento para llevar a cabo la instalación de paneles solares fotovoltaicas era por las subvenciones recibidas. Actualmente, en la Comunidad Madrid, gracias a los Fondos Next Generation, se pretende destinar unos 10.000.000 € para incentivar el autoconsumo en los años 2022 y 2023 (Ojeda, G). Estas subvenciones cubrirán entre el 25 y el 35% del desembolso inicial realizado. De este modo, según la empresa instaladora Ecopel, la cuantía subvencionable por la obra a realizar es de exactamente **5.175 €**.
- **Tarifa eléctrica:** Igual que supondrá un gasto a futuro, el “ingreso” más importante será el ahorro que se produce en la factura por el hecho de instalar los paneles solares. Dado que en la parte de costes se han puesto los nuevos costes reales que se tendrán en la tarifa, para la parte de ingresos hay que poner exactamente los costes actuales de electricidad que se pagarían en la vivienda si no hubiese paneles solares fotovoltaicos. Además, estos subirán proporcionalmente año a año con la inflación a lo largo de la vida útil del proyecto.
 - **Potencia Contratada:** De todos los datos de facturas pasadas desde septiembre de 2021 a julio 2022, se asumía que el precio para horas punta será de 0,075 €/kW·día para la potencia en horas punta y de 0,015 €/kW·día. La potencia contratada en horas punta y valle será diferente para cada escenario.

- **Término de Energía:** El precio pagado por la energía seguirá siendo igual y de **0,15 €/kWh**. La energía consumida en cada uno de los escenarios se muestra en la Ilustración 68.
- **Servicios adicionales e impuestos:** Idem a la parte de ingresos. Para que sirva como ejemplo, utilizando la Ecuación 6, el ahorro anual en energía (que es el gasto actual) en el Escenario 0 será de:

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 19.700 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = \mathbf{3.968,97 \text{ €}}$$

➤ *Ingresos – gastos. Optimización del modelo*

Si se pone en común los gastos e ingresos recién explicados se llegaría a la Tabla 22. Como se puede ver en dicha tabla y como adelantaba el nombre de este capítulo 4.2.4.1.3, la rentabilidad de la inversión en fotovoltaica depende de minimizar el gasto eléctrico en relación a la inversión a realizar, pues son las dos variables que dependen de la potencia pico de la instalación. No obstante, hay dos factores que complican la operación y hay que seguir desarrollando para llegar al modelo final de optimización de la potencia pico.

Tabla 22. Resumen de los gastos e ingresos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)

	Ingresos		Gastos	
Año 0	Subvenciones	5.175,00 €	Inversión	Ecuación 7
Año 12	-	-	Inversores	5.000,00 €
Años 1 a 25	Tarifa	Ecuación 6	Tarifa	Ecuación 8
			Propios	180,00 €

C. *El descuento de flujos de caja (DCF)*

El siguiente paso para la construcción del modelo consistirá en realizar un descuento de flujos de caja (DCF) para tener en cuenta todos los años de vida útil del proyecto. Para ello, el primer paso es elegir la tasa de descuento o WACC, con el que se realizará el DCF y los valores de inflación de los distintos gastos en ingresos. Los valores elegidos se muestran en la Tabla 23. A continuación, ya se está en disposición de crear el DCF con todos los ingresos y gastos provenientes de la Tabla 22. El resultado se muestra en la Tabla 24. A continuación de dicha tabla se explica el significado de todos los componentes y se especifican todas las asunciones realizadas.

Tabla 23. WACC e inflación del proyecto. (Fuente: Elaboración propia)

WACC (<i>r</i>)	5,00%
Inflación (<i>i</i>)	2,00%

Tabla 24. DCF de la instalación fotovoltaica los dos primeros años de vida útil. (Fuente: Elaboración propia)

		0	1	2	... 25
Ingresos (+)	Subvención	5.175,00 €	-	-	...
	Ahorro en tarifa	-	$G_1 = \text{Ecuación 6}$	$G_2 = G_1 \cdot (1 + i \%)$...
Gastos (-)	Inversión	$A_0 = \text{Ecuación 7}$	-	-	...
	Coste de la electricidad	-	$B_1 = \text{Ecuación 8}$	$B_2 = B_1 \cdot (1 + i \%)$...
	Mantenimiento	-	90,00 €	91,80 €	...
	Asegurado	-	90,00 €	91,80 €	...
	Reemplazos	-	-	-	...
	FCF	$C_0 = 5.175,00 \text{ €} - A_0$	$C_1 = G_1 - B_1 - 180,00 \text{ €}$	$C_2 = C_1 \cdot (1+2\%) = G_2 - B_2 - 183,60 \text{ €}$...
	FCF acumulado	$D_0 = 5.175,00 \text{ €} - A_0$	$D_1 = D_0 + C_1$	$D_2 = D_1 + C_2$...
	DCF	$E_0 = 5.175,00 \text{ €} - A_0$	$E_1 = C_1 \cdot (1 + r \%)^{-1}$	$E_2 = C_2 \cdot (1 + r \%)^{-2}$...
	VAN	$F_0 = 5.175,00 \text{ €} - A_0$	$F_1 = F_0 + E_1$	$F_2 = F_1 + E_2$...

- **Retorno o WACC (r):** El retorno con el que se calcula el DCF del proyecto tiene que ver con la rentabilidad de llevar a cabo este tipo de proyectos. De acuerdo con recomendaciones de expertos en inversiones, la mejor forma de valorar la rentabilidad de este tipo de proyectos es utilizar proyectos comparables de fotovoltaica en viviendas similares. Es decir, la rentabilidad que se obtendría si se alquilase la vivienda en cuestión. De este modo, juntando información de diferentes fuentes, la tasa de retorno elegida será del **5%**.
- **Tasa de inflación (i):** Realmente, el flujo calculado para los años 1 a 25 no es constante, como parece indicar la Tabla 22. Excepto por los gastos e ingresos que se dan en el año 0 (subvención e inversión respectivamente) y la inversión del año 12 (sustitución del inversor), todos los demás gastos e ingresos están sujetos a variar su valor fruto de la inflación con el paso del tiempo. Es cierto que en los gastos del precio eléctrico hay una incertidumbre extra imposible de saber fruto de las fluctuaciones en el contexto geopolítico. De este modo, se va a asumir que todos los gastos e ingresos variarán su valor por igual a lo largo de tiempo conforme a la tasa de inflación existente. Según el INE (Instituto Nacional de Estadística), el IPC (Índice de Precios del Consumidor) medio en 2022 fue del 8,4%, que es un valor altísimo. No obstante, si se fija la vista en el histórico en los últimos 20 años, se puede asumir una tasa de inflación del **2%**, lo cual es un valor lógico para este tipo de proyectos.
- **FCF:** La columna del *Free Cash Flow* (FCF) es la suma de los ingresos menos los gastos en cada uno de los años de vida útil del proyecto. Dado que los ingresos son más grandes que los gastos todos los años menos el primero, las cuantías son positivas. Además, estas van subiendo año a año fruto de la inflación existente del 2% tanto en los ingresos, como en los gastos.
- **FCF acumulado (Ahorro acumulado):** Sumando y acumulando los ingresos de cada año (columna del FCF), se puede ir viendo el año en el que se recupera la inversión. Se define como **payback** aquel año en el que el FCF acumulado se vuelve positivo. Además, En el año 25, se podrá ver el ahorro acumulado total del proyecto.
- **DCF (FCF descontado):** La columna del DCF descuenta las cuantías del FCF con la tasa de descuento o WACC (r) del 5% al año 0 del proyecto, de manera que se pueda saber con el valor del dinero a día de hoy la rentabilidad del proyecto. Haciendo este método y este descuento, se sacan dos de los KPIs financieros del proyecto que indican una rentabilidad muy alta.
- **Valor Actual Neto (VAN):** Es el valor presente de los flujos de caja descontados con la tasa del 5%. Es decir, la suma acumulada de los DCF. Su valor en el año 25 es probablemente el indicador más importante de la rentabilidad de la inversión junto con el **TIR**, es la tasa de descuento con la que habría que descontar los flujos de caja para que el VAN fuera nulo, siguiendo la Ecuación 9.

Ecuación 9. Ecuación del TIR. (Fuente: Análisis de Costes y Finanzas)

$$0 = FCF_0 + FCF_1 \cdot (1 + TIR\%)^{-1} + \dots + FCF_{25} \cdot (1 + TIR\%)^{-25}$$

D. Cálculo de las incógnitas restantes: número de inversores, de la energía consumida de la red y de los excedentes

Una vez construido el DCF de la inversión en la instalación de paneles solares fotovoltaicos, y conocido que el VAN y el TIR de la inversión serán la clave en la decisión final, lo único que le falta a este modelo de optimización para poder determinar cuál de las doce potencias pico mencionadas en el apartado 4.2.4.1.2 es la óptima, es llegar a relacionar dichas potencias pico, con las incógnitas que aparecen en la Ecuación 7 (inversión) y en la Ecuación 8 (coste de la electricidad).

➤ *Ecuación de la inversión (Ecuación 7)*

Para poder calcular el gasto de la inversión, hay que saber el número módulos – lo cual es un cálculo sencillo y directo, pues el número de módulos ya se calculó con la Ecuación 5, como paso previo al cálculo final de la potencia pico, y es proporcional a la misma – y el número de inversores necesarios. De este modo, es necesario relacionar de manera directa el número y modelo de inversores que serán necesarios, con el número de módulos (o con la potencia pico de la instalación). Las relaciones más lógicas posibles y que se utilizarán en el modelo se muestran en la Tabla 25. Para potencias superiores a los 33 kW, las cuales son muy improbables, se asumirá que el precio sube 100 € por cada módulo extra que se instala.

Tabla 25. *Relación del número de módulos con el tamaño del inversor. (Fuente: Elaboración propia)*

Potencia [P_{mp}] (kW)	Número de módulos [N]	Inversor elegido	Cantidad de inversores	Precio (€)
P < 5,4	N < 11	R5 - 3,6K - S2	1	900,00 €
5,4 < P < 6,0	N = 12	R5 - 4K - S2	1	1.045,00 €
6,0 < P < 7,5	13 < N < 15	R5 - 5K - S2	1	1.094,00 €
7,5 < P < 9,0	16 < N < 18	R5 - 6K - S2	1	1.237,50 €
9,0 < P < 10,5	19 < N < 21	R5 - 7K - S2	1	1.400,00 €
10,5 < P < 12,0	22 < N < 24	R5 - 8K - S2	1	1.500,00 €
12,0 < P < 15,0	25 < N < 31	R5 - 5K - S2	2	2.188,00 €
15,0 < P < 18,0	32 < N < 37	R5 - 6K - S2	2	2.474,00 €
18,0 < P < 21,0	38 < N < 43	R5 - 7K - S2	2	2.800,00 €
21,0 < P < 24,0	44 < N < 49	R5 - 8K - S2	2	3.000,00 €
24,0 < P < 27,0	50 < N < 56	R5 - 6K - S2	3	3.711,00 €
27,0 < P < 30,0	57 < N < 62	R5 - 7K - S2	3	4.200,00 €
30,0 < P < 33,0	63 < N < 68	R5 - 8K - S2	3	4.500,00 €
P > 33,0	N > 69	A definir	A definir	4.500,00 € + (N - 69) · 100 €

➤ *Gasto anual en electricidad (Ecuación 8)*

Para poder llegar a calcular el gasto anual en electricidad hace falta relacionar la potencia pico con la energía consumida y con los excedentes mensuales. Para llevar a cabo dicho cálculo, en primer lugar, es necesario calcular la energía producida, la cual viene dada de nuevo por la fórmula del IDAE que se mostraba en la Ecuación 8. Lo único que cambia con respecto al apartado 4.2.4.1.2 es que en este caso la energía producida cada mes es la incógnita, mientras que la potencia pico será constante todos los meses.

La complicación de este cálculo reside en que para cada una de las doce potencias pico que pueden ser la solución, habrá un perfil de demanda anual diferente, con diferentes energías producidas mes a mes. Además, dicha energía producida mes a mes tendrá que ser reducida en un 0,4% cada año, de acuerdo con los perfiles de degradación de los módulos fotovoltaicos que se mostraban en la Ilustración 66.

Una vez calculados los perfiles de energía producida mes a mes, finalmente, para llevar a cabo el cálculo de la energía consumida por la red y de los excedentes, habrá que echar mano de los perfiles de demanda horarios mensuales. Esto es así, por que al no contar con almacenamiento, la instalación fotovoltaica solo puede producir en las horas en las que hay luz. Así, toda la producción que se da por la noche no podrá ser cubierta nunca por la instalación fotovoltaica y provendrá de la red. De este modo, cada mes se podrá ver la demanda cubierta y el excedente mediante la utilización de la Ecuación 10.

Ecuación 10. Cálculo del consumo de la red y excedentes (Fuente: Elaboración propia)

- Energía producida > consumo de día:

$$\sum_{i=1}^{12} \text{Excedentes} = \text{Energía producida} - \text{consumo de día}$$

$$\sum_{i=1}^{12} \text{Consumo red} = \text{consumo de noche}$$

- Energía producida < consumo de día:

$$\sum_{i=1}^{12} \text{Excedentes} = 0$$

$$\sum_{i=1}^{12} \text{Consumo red} = \text{consumo de noche} + \text{consumo de día} - \text{Energía producida}$$

Finalmente, todo lo explicado en el apartado D se juntará con la Tabla 24 en la que se muestra el DCF, para crear un modelo Microsoft Excel que permitirá optimizar la instalación fotovoltaica en cada uno de los escenarios.

4.2.4.2. Dimensionado de los escenarios

4.2.4.2.1. *Escenario 0. Situación actual de la vivienda*

A. Cálculo de la potencia pico a partir de las demandas mensuales

Tabla 26. Cálculo de la potencia pico en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<i>A</i>	Perfil de consumo (kWh)	1.525,00	1.505,00	1.750,00	1.510,00	1.990,00	2.300,00	1.425,00	1.250,00	1.950,00	1.495,00	1.490,00	1.510,00
<i>B</i>	Consumo de día (%)	65%	65%	70%	75%	80%	90%	90%	90%	85%	75%	70%	65%
<i>C</i>	Consumo de día (kWh) [A]·[B]	991,25	978,25	1.225,00	1.132,50	1.592,00	2.070,00	1.282,50	1.125,00	1.657,50	1.121,25	1.043,00	981,50
<i>D</i>	Consumo de noche (%)	35%	35%	30%	25%	20%	10%	10%	10%	15%	25%	30%	35%
<i>E</i>	Consumo de noche (kWh) [A]·[D]	533,75	526,75	525,00	377,50	398,00	230,00	142,50	125,00	292,50	373,75	447,00	528,50
<i>F</i>	Gdm(0°, 30°) (kWh/m ²)	133,95	154,98	174,02	170,54	211,22	213,15	232,06	224,32	195,99	161,16	107,89	112,71
<i>G</i>	Número de módulos [A]/[F]/0,9/0,48	26,35	22,48	23,28	20,50	21,81	24,98	14,21	12,90	23,03	21,47	31,97	31,01
<i>H</i>	Número de módulos real (N)	27,00	23,00	24,00	21,00	22,00	25,00	15,00	13,00	24,00	22,00	32,00	32,00
<i>I</i>	Potencia pico real (kW) [H]·0,48	12,96	11,04	11,52	10,08	10,56	12,00	7,20	6,24	11,52	10,56	15,36	15,36

B. Elección del número de módulos (potencia pico) adecuado para la instalación

Tabla 27. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)

Número de módulos (N)		27	23	24	21	22	25	15	13	24	22	32	32
A	Energía anual producida (kWh)	24.401,09	20.786,11	21.689,86	18.978,62	19.882,37	22.593,60	13.556,16	11.748,67	21.689,86	19.882,37	28.919,81	28.919,81
B	Consumo anual de la red (kWh)	4.500,25	4.500,25	4.500,25	4.700,74	4.562,05	4.500,25	6.719,72	8.106,90	4.500,25	4.562,05	4.500,25	4.500,25
C	Excedentes anuales (kWh)	9.201,34	5.586,36	6.490,11	3.979,37	4.744,42	7.393,85	575,88	155,57	6.490,11	4.744,42	13.720,06	13.720,06
D	Término de energía (€)	320,64	461,95	426,62	552,66	503,46	391,29	979,16	1208,26	426,62	503,46	173,36	173,36
E	Inversión (€)	20.185,63	17.199,35	17.737,80	16.001,45	16.660,90	19.108,73	12.400,49	11.323,59	17.737,80	16.660,90	23.223,94	23.223,94
F	VAN (€)	37.044,58	37.530,23	37.763,91	36.831,13	37.161,47	36.577,21	31.372,18	27.442,20	37.763,91	37.161,47	36.980,65	36.980,65
G	VAN/Inversión	1,84	2,18	2,13	2,30	2,23	1,91	2,53	2,42	2,13	2,23	1,59	1,59
H	TIR (%)	22,4%	26,4%	25,6%	28,1%	27,1%	23,4%	33,9%	34,8%	25,6%	27,1%	19,7%	19,7%
I	Payback (años)	4,57	3,90	4,02	3,66	3,80	4,37	3,03	2,95	4,02	3,80	5,16	5,16
Aclaraciones		<p>1) El cálculo de la fila A (Energía anual producida) se realiza calculando la energía producida mensual con los datos de Gdm(0°, 30°) mensuales provenientes del PVGIS y, posteriormente se suman todos los meses para obtener la energía total producida. Lo mismo pasa con las filas B (Consumo anual de la red), C (Excedentes anuales) y D (Término de energía). Con la Ecuación 10, se obtienen el consumo y los excedentes mensuales, los cuales se utilizan para obtener el término mensual de energía de la tarifa eléctrica. Finalmente, el valor anual que aparece en esta tabla se calcula sumando todos los meses. Las tablas de cálculo se muestran en el Anexo 8.3.2.2.1.</p> <p>2) La potencia contratada de este escenario es 5 kW en punta y en valle.</p>											
Motivo de la elección		Se ha elegido N = 15 módulos ($P_{mp} = 7,2$ kW) dado que los resultados financieros muestran la mejor relación VAN/inversión. Además, el TIR y el payback son suficientemente altos.											

C. Output final del Escenario 0 (N = 15)

➤ *KPIs más importantes*

Tabla 28. *KPIs del Escenario 0 del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	15,00
	<i>Superficie (m²)</i>	32,64
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 5K - S2
	<i>Número</i>	1
Datos Energéticos	<i>Potencia pico</i>	7,20 kW
	<i>Producción total</i>	13.556,16
	<i>Exceso de producción</i>	575,88
	<i>Demanda no satisfecha</i>	6.719,72
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	12.400,49 €
	<i>VAN</i>	31.372,18 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,53
	<i>TIR</i>	33,9%
	<i>Payback</i>	3,03

➤ *Gráfica de amortización*

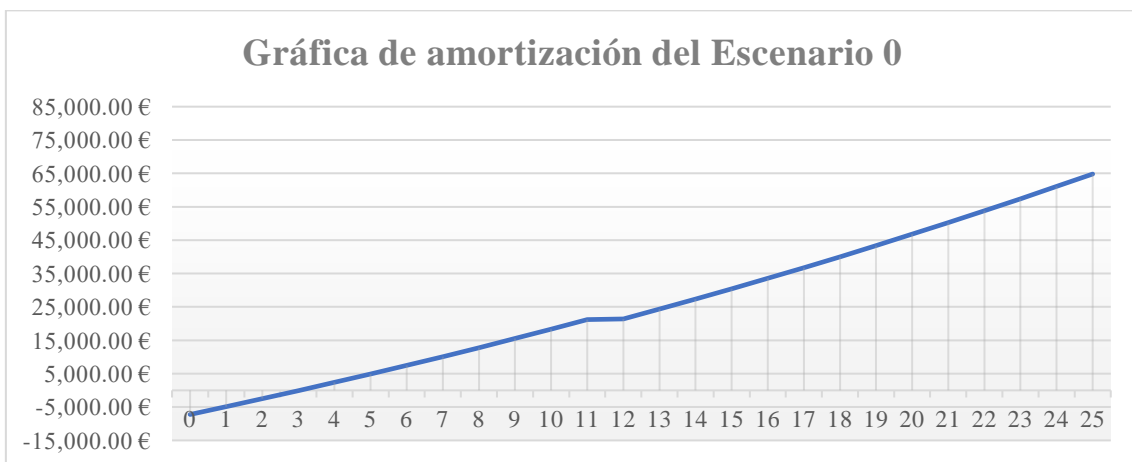


Ilustración 70. *Gráfica de amortización del Escenario 0 del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Javier Ros Martín
INCLUSIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA VIVIENDA

➤ *DCF*

Tabla 29. *DCF para N = 15 en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)*

		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>25</i>
+	Subvención	5.175,00 €									
	Ahorro en tarifa		3.968,97 €	4.048,35 €	4.129,32 €	4.211,90 €	4.296,14 €	4.838,15 €	4.934,92 €	5.033,61 €	6.383,84 €
-	Inversión	12.400,49 €									
	Coste de la electricidad		1.456,04 €	1.485,17 €	1.514,87 €	1.545,17 €	1.576,07 €	1.774,91 €	1.810,41 €	1.846,62 €	2.341,96 €
	Mantenimiento		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Asegurado		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Reemplazos								2.678,82 €		
=	FCF	-7.225,49 €	2.332,93 €	2.379,58 €	2.427,18 €	2.475,72 €	2.525,23 €	2.843,82 €	221,88 €	2.958,71 €	3.752,36 €
	FCF acumulado	-7.225,49 €	-4.892,56 €	-2.512,98 €	-85,81 €	2.389,91 €	4.915,15 €	21.163,21 €	21.385,09 €	24.343,80 €	64.819,98 €
	DCF	-7.225,49 €	2.221,83 €	2.158,35 €	2.096,69 €	2.036,78 €	1.978,59 €	1.662,72 €	123,55 €	1.569,07 €	1.108,08 €
	VAN	-7.225,49 €	-5.003,66 €	-2.845,30 €	-748,62 €	1.288,16 €	3.266,75 €	14.006,06 €	14.129,61 €	15.698,67 €	31.372,18 €

➤ *Output energético*

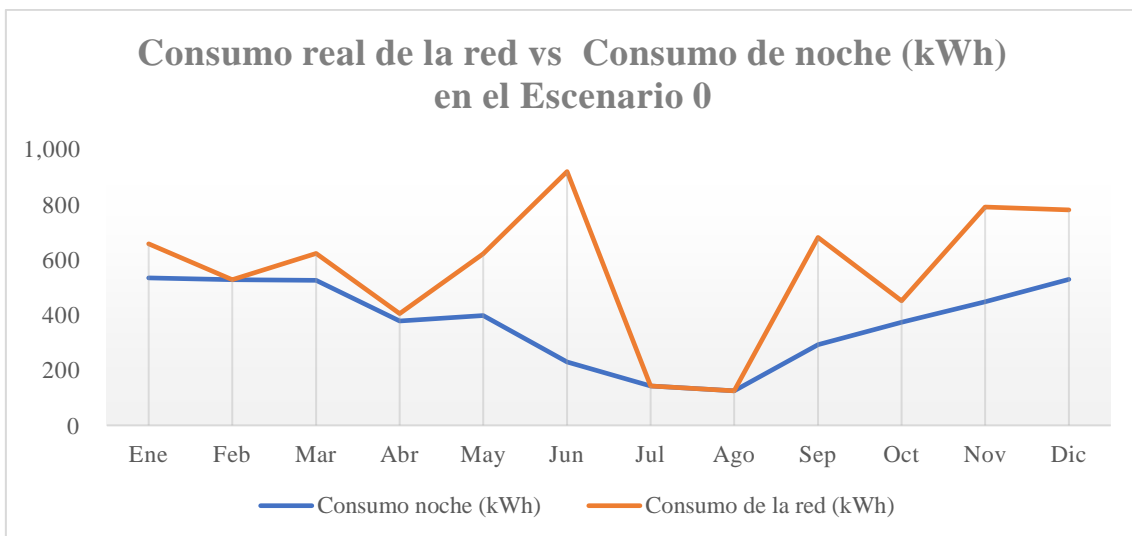
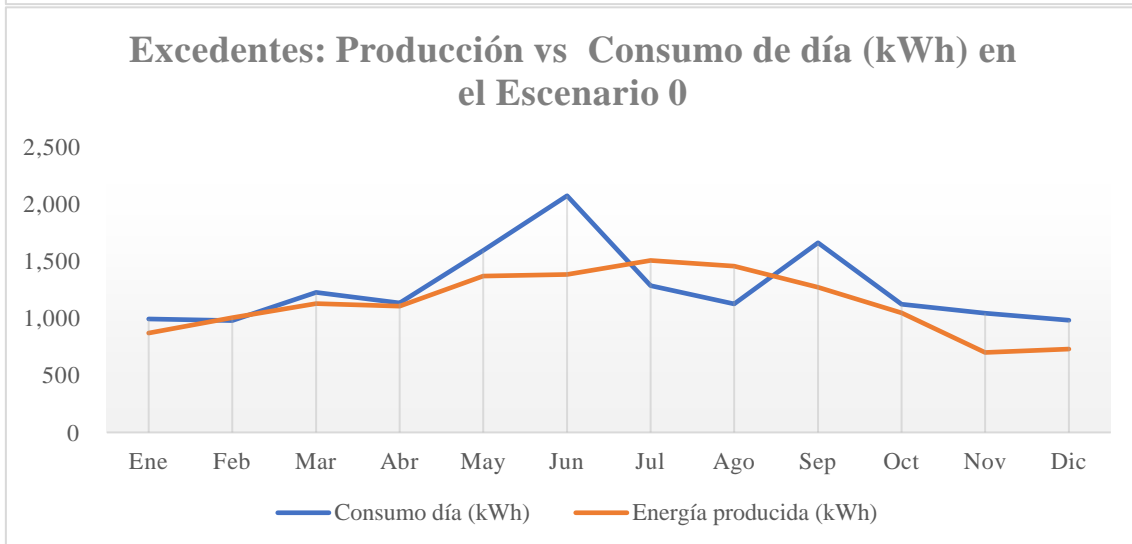
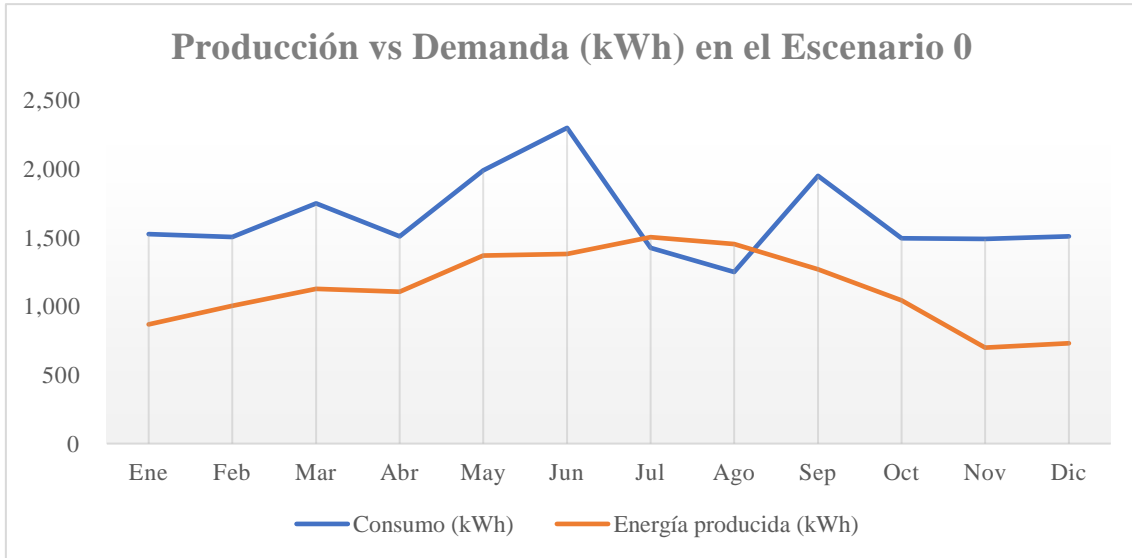


Ilustración 71. Output energético anual del Escenario 0 del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)

4.2.4.2.2. Escenario I. Aerotermia

A. Cálculo de la potencia pico a partir de las demandas mensuales

Tabla 30. Cálculo de la potencia pico en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<i>A</i>	Perfil de consumo (kWh)	4.467,64	4.194,44	4.194,44	3.085,80	2.556,18	2.709,82	2.736,09	2.736,09	2.676,08	2.531,48	3.210,52	4.194,44
<i>B</i>	Consumo de día (%)	85%	85%	80%	75%	80%	85%	90%	90%	85%	75%	85%	85%
<i>C</i>	Consumo de día (kWh) [A]·[B]	3.797,49	3.565,27	3.355,55	2.314,35	2.044,94	2.303,35	2.462,48	2.462,48	2.274,67	1.898,61	2.728,94	3.565,27
<i>D</i>	Consumo de noche (%)	15%	15%	20%	25%	20%	15%	10%	10%	15%	25%	15%	15%
<i>E</i>	Consumo de noche (kWh) [A]·[D]	670,15	629,17	838,89	771,45	511,24	406,47	273,61	273,61	401,41	632,87	481,58	629,17
<i>F</i>	Gdm(0°, 30°) (kWh/m ²)	133,95	154,98	174,02	170,54	211,22	213,15	232,06	224,32	195,99	161,16	107,89	112,71
<i>G</i>	Número de módulos [A]/[F]/0,9/0,48	77,20	62,65	55,79	41,88	28,01	29,43	27,29	28,23	31,61	36,36	68,88	86,15
<i>H</i>	Número de módulos real (N)	78,00	63,00	56,00	42,00	29,00	30,00	28,00	29,00	32,00	37,00	69,00	87,00
<i>I</i>	Potencia pico real (kW) [H]·0,48	37,44	30,24	26,88	20,16	13,92	14,40	13,44	13,92	15,36	17,76	33,12	41,76

B. Elección del número de módulos (potencia pico) adecuado para la instalación

Tabla 31. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Número de módulos (N)		78	63	56	42	29	30	28	29	32	37	69	87
A	Energía anual producida (kWh)	70.492,03	56.935,87	50.609,66	37.957,25	26.208,58	27.112,32	25.304,83	26.208,58	28.919,81	33.438,53	62.358,34	78.625,73
B	Consumo anual de la red (kWh)	6.519,60	7.169,27	8.034,04	11.129,81	15.146,45	14.777,48	15.515,41	15.146,45	14.082,74	12.606,27	6.725,32	6.519,60
C	Excedentes anuales (kWh)	37.718,62	24.812,13	19.350,69	9.794,04	2.062,01	2.596,79	1.527,23	2.062,01	3.709,53	6.751,79	29.790,64	45.852,32
D	Término de energía (€)	186,32	472,76	687,74	1299,25	2168,87	2086,78	2250,95	2168,87	1926,93	1589,77	339,78	105,45
E	Inversión (€)	52.138,10	42.246,35	37.630,20	29.002,90	21.262,53	21.800,98	20.724,08	21.262,53	23.223,94	25.916,19	46.203,05	58.073,15
F	VAN (€)	69.087,46	74.000,80	74.516,66	70.548,32	59.805,82	61.061,34	58.550,29	59.805,82	62.887,52	67.564,22	72.437,79	64.150,90
G	VAN/Inversión	1,33	1,75	1,98	2,43	2,81	2,80	2,83	2,81	2,71	2,61	1,57	1,10
H	TIR (%)	16,0%	19,3%	21,2%	25,3%	29,9%	29,6%	30,2%	29,9%	28,5%	27,1%	17,9%	14,2%
I	Payback (años)	6,29	5,29	4,85	4,08	3,44	3,48	3,41	3,44	3,61	3,81	5,68	6,94
Aclaraciones		<p>1) El cálculo de la fila A (Energía anual producida) se realiza calculando la energía producida mensual con los datos de G_{dm}(0°, 30°) mensuales provenientes del PVGIS y, posteriormente se suman todos los meses para obtener la energía total producida. Lo mismo pasa con las filas B (Consumo anual de la red), C (Excedentes anuales) y D (Término de energía). Con la Ecuación 10, se obtienen el consumo y los excedentes mensuales, los cuales se utilizan para obtener el término mensual de energía de la tarifa eléctrica. Finalmente, el valor anual que aparece en esta tabla se calcula sumando todos los meses. Las tablas de cálculo se muestran en el Anexo 8.3.2.2.2.</p> <p>2) La potencia contratada de este escenario es 15 kW en punta y 10 kW en valle.</p>											
Motivo de la elección		Se ha elegido N = 28 módulos (P _{mp} = 13,44 kW) dado que los resultados financieros muestran la mejor relación VAN/inversión, el mejor TIR y el mejor payback.											

C. Output final del Escenario I (N = 28)

➤ *KPIs más importantes*

Tabla 32. *KPIs del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	28,00
	<i>Superficie (m²)</i>	60,93
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 5K - S2
	<i>Número</i>	2
Datos Energéticos	<i>Potencia pico</i>	13,44 kW
	<i>Producción total</i>	25.304,83
	<i>Exceso de producción</i>	1.527,23
	<i>Demanda no satisfecha</i>	15.515,41
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	20.724,08 €
	<i>VAN</i>	58.550,29 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,83
	<i>TIR</i>	30,2%
	<i>Payback</i>	3,41

➤ *Gráfica de amortización*

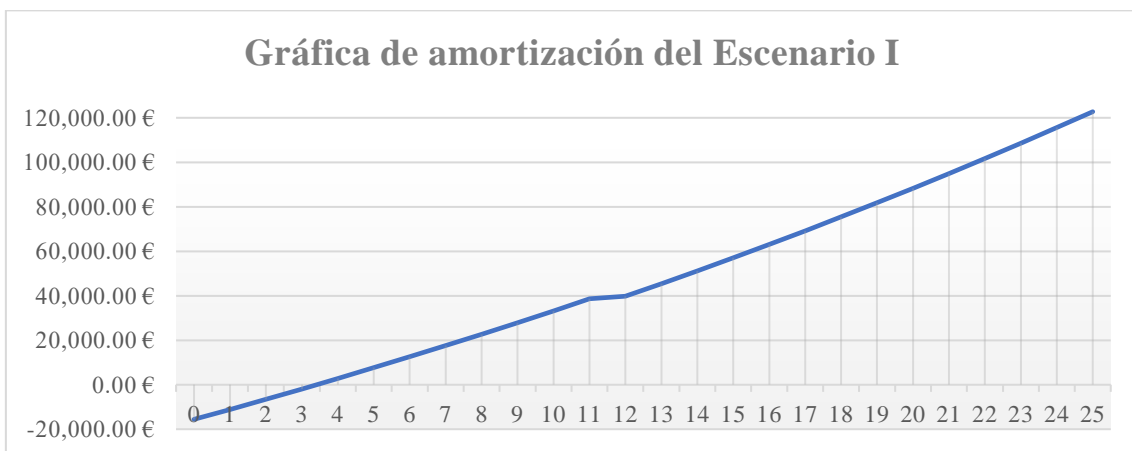


Ilustración 72. *Gráfica de amortización del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

➤ *DCF*

Tabla 33. *DCF para N =28 en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)*

		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>25</i>
+	Subvención	5.175,00 €									
	Ahorro en tarifa		8.089,80 €	8.251,60 €	8.416,63 €	8.584,97 €	8.756,66 €	9.861,43 €	10.058,66 €	10.259,83 €	13.011,94 €
-	Inversión	20.724,08 €									
	Coste de la electricidad		3.456,52 €	3.525,65 €	3.596,17 €	3.668,09 €	3.741,45 €	4.213,48 €	4.297,75 €	4.383,71 €	5.559,60 €
	Mantenimiento		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Asegurado		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Reemplazos								4.357,64 €		
=	FCF	-15.549,08 €	4.453,28 €	4.542,35 €	4.633,20 €	4.725,86 €	4.820,38 €	5.428,53 €	1.179,45 €	5.647,84 €	7.162,83 €
	FCF acumulado	-15.549,08 €	-11.095,80 €	-6.553,45 €	-1.920,25 €	2.805,60 €	7.625,98 €	38.641,65 €	39.821,10 €	45.468,94 €	122.733,25 €
	DCF	-15.549,08 €	4.241,22 €	4.120,04 €	4.002,33 €	3.887,98 €	3.776,89 €	3.173,95 €	656,76 €	2.995,17 €	2.115,20 €
	VAN	-15.549,08 €	-11.307,86 €	-7.187,81 €	-3.185,49 €	702,49 €	4.479,38 €	24.979,47 €	25.636,23 €	28.631,40 €	58.550,29 €

➤ *Output energético*

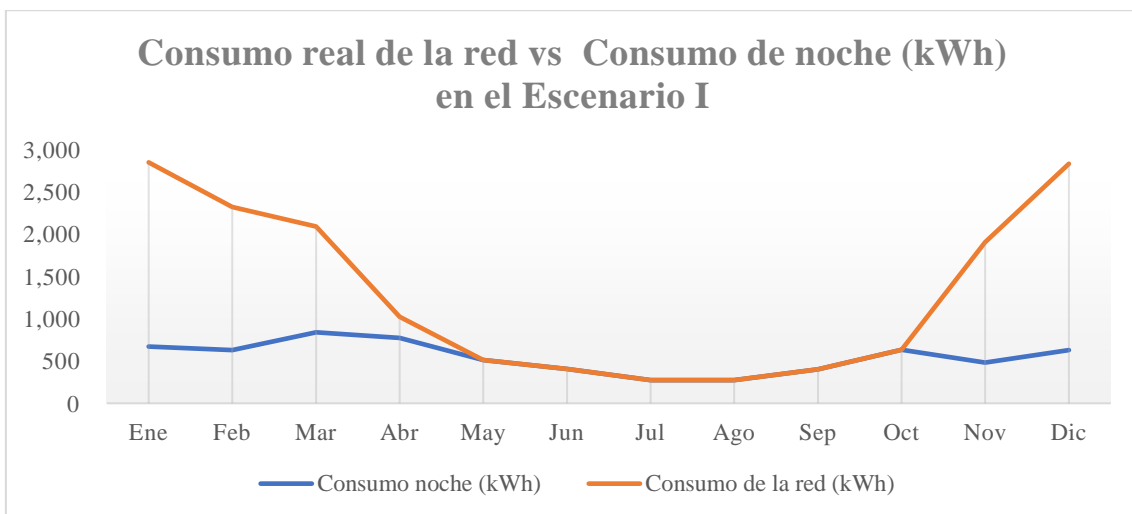
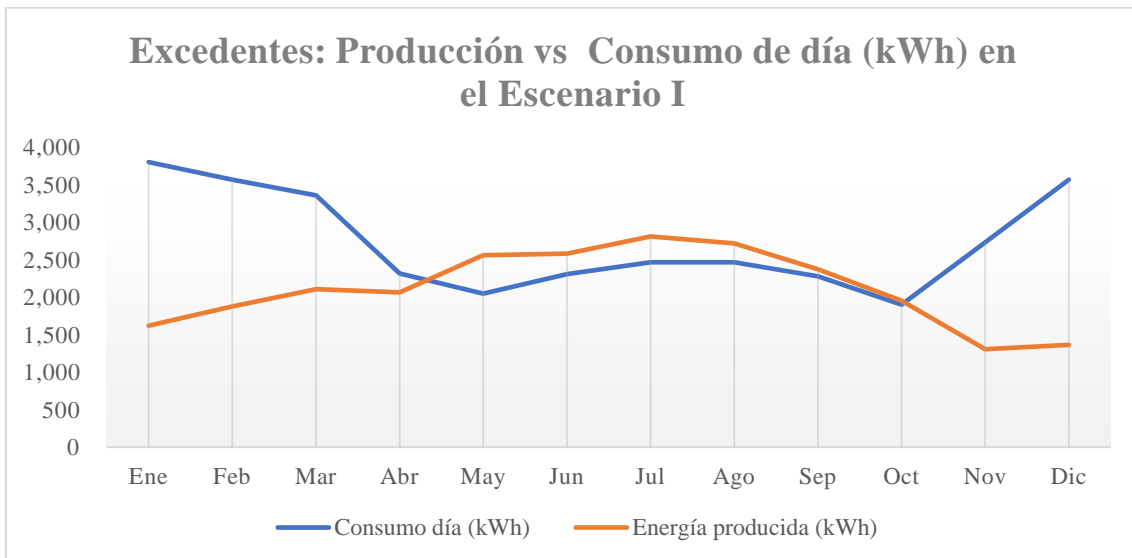
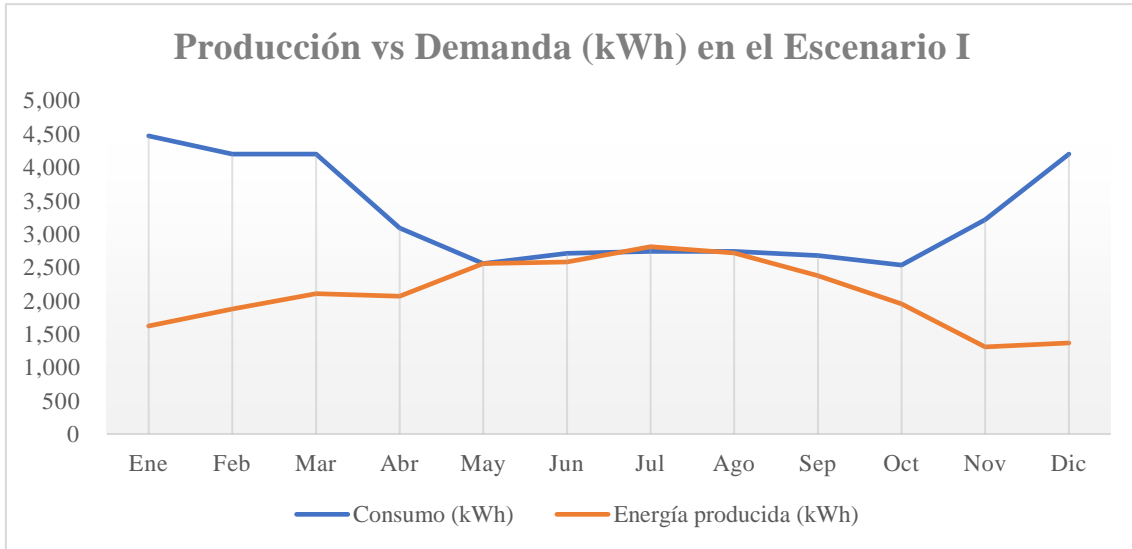


Ilustración 73. Output energético anual del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)

4.2.4.2.3. Escenario II. Biomasa

A. Cálculo de la potencia pico a partir de las demandas mensuales

Tabla 34. *Cálculo de la potencia pico en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)*

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<i>A</i>	Perfil de consumo (kWh)	1.700,00	1.700,00	1.700,00	1.700,00	2.057,69	2.392,31	2.415,38	2.415,38	2.046,15	1.700,00	1.700,00	1.700,00
<i>B</i>	Consumo de día (%)	65%	65%	70%	75%	80%	90%	90%	90%	85%	75%	70%	65%
<i>C</i>	Consumo de día (kWh) [A]·[B]	1.105,00	1.105,00	1.190,00	1.275,00	1.646,15	2.153,08	2.173,85	2.173,85	1.739,23	1.275,00	1.190,00	1.105,00
<i>D</i>	Consumo de noche (%)	35%	35%	30%	25%	20%	10%	10%	10%	15%	25%	30%	35%
<i>E</i>	Consumo de noche (kWh) [A]·[D]	595,00	595,00	510,00	425,00	411,54	239,23	241,54	241,54	306,92	425,00	510,00	595,00
<i>F</i>	Gdm(0°, 30°) (kWh/m ²)	133,95	154,98	174,02	170,54	211,22	213,15	232,06	224,32	195,99	161,16	107,89	112,71
<i>G</i>	Número de módulos [A]/[F]/0,9/0,48	29,38	25,39	22,61	23,07	22,55	25,98	24,09	24,92	24,17	24,42	36,47	34,92
<i>H</i>	Número de módulos real (N)	30,00	26,00	23,00	24,00	23,00	26,00	25,00	25,00	25,00	25,00	37,00	35,00
<i>I</i>	Potencia pico real (kW) [H]·0,48	14,40	12,48	11,04	11,52	11,04	12,48	12,00	12,00	12,00	12,00	17,76	16,80

B. Elección del número de módulos (potencia pico) adecuado para la instalación

Tabla 35. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Número de módulos (N)		30	26	23	24	23	26	25	25	25	25	37	35
A	Energía anual producida (kWh)	27.112,32	23.497,34	20.786,11	21.689,86	20.786,11	23.497,34	22.593,60	22.593,60	22.593,60	22.593,60	33.438,53	31.631,04
B	Consumo anual de la red (kWh)	5.095,77	5.095,77	5.248,96	5.167,17	5.248,96	5.095,77	5.120,56	5.120,56	5.120,56	5.120,56	5.095,77	5.095,77
C	Excedentes anuales (kWh)	8.981,17	5.366,19	2.808,15	3.630,10	2.808,15	5.366,19	4.487,23	4.487,23	4.487,23	4.487,23	15.307,37	13.499,89
D	Término de energía (€)	321,20	496,06	646,94	593,57	646,94	496,06	543,72	543,72	543,72	543,72	162,29	194,40
E	Inversión (€)	21.800,98	19.647,18	17.199,35	17.737,80	17.199,35	19.647,18	19.108,73	19.108,73	19.108,73	19.108,73	25.916,19	24.839,29
F	VAN (€)	46.979,28	45.311,53	45.049,72	45.677,61	45.049,72	45.311,53	44.808,23	44.808,23	44.808,23	44.808,23	46.092,78	46.467,90
G	VAN/Inversión	2,15	2,31	2,62	2,58	2,62	2,31	2,34	2,34	2,34	2,34	1,78	1,87
H	TIR (%)	24,5%	26,5%	30,1%	29,4%	30,1%	26,5%	27,0%	27,0%	27,0%	27,0%	20,8%	21,7%
I	Payback (años)	4,19	3,88	3,42	3,50	3,42	3,88	3,80	3,80	3,80	3,80	4,93	4,73
Aclaraciones		<p>1) El cálculo de la fila A (Energía anual producida) se realiza calculando la energía producida mensual con los datos de G_{dm}(0°, 30°) mensuales provenientes del PVGIS y, posteriormente se suman todos los meses para obtener la energía total producida. Lo mismo pasa con las filas B (Consumo anual de la red), C (Excedentes anuales) y D (Término de energía). Con la Ecuación 10, se obtienen el consumo y los excedentes mensuales, los cuales se utilizan para obtener el término mensual de energía de la tarifa eléctrica. Finalmente, el valor anual que aparece en esta tabla se calcula sumando todos los meses. Las tablas de cálculo se muestran en el Anexo 8.3.2.2.3.</p> <p>2) La potencia contratada de este escenario es 10 kW en punta y 5 kW en valle.</p>											
Motivo de la elección		Se ha elegido N = 23 módulos (P _{mp} = 11,04 kW) dado que los resultados financieros muestran la mejor relación VAN/inversión, el mejor TIR y el mejor payback.											

C. Output final del Escenario II (N = 23)

➤ *KPIs más importantes*

Tabla 36. *KPIs del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	23,00
	<i>Superficie (m²)</i>	50,05
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 8K - S2
	<i>Número</i>	1
Datos Energéticos	<i>Potencia pico</i>	11,04 kW
	<i>Producción total</i>	20.786,11
	<i>Exceso de producción</i>	2.808,15
	<i>Demanda no satisfecha</i>	5.248,96
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	17.199,35 €
	<i>VAN</i>	45.049,72 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,62
	<i>TIR</i>	30,1%
	<i>Payback</i>	3,42

➤ *Gráfica de amortización*

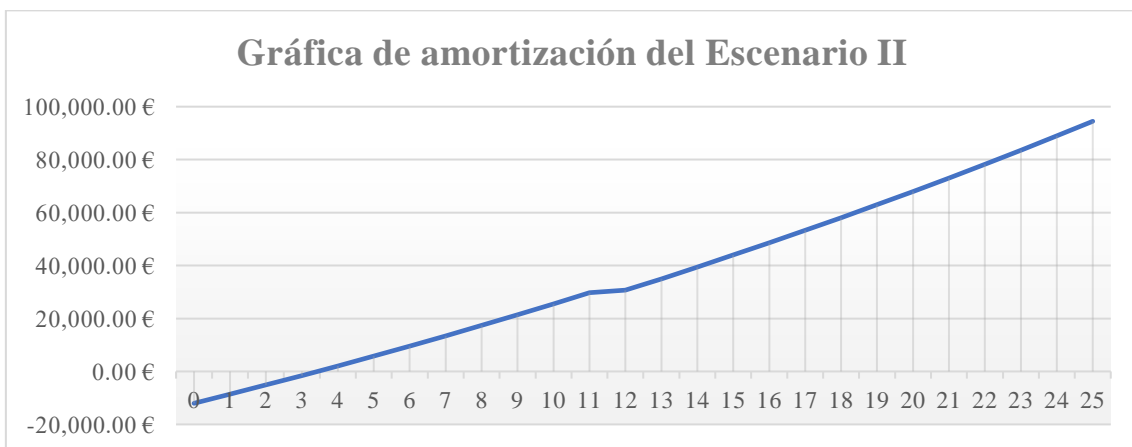


Ilustración 74. *Gráfica de amortización del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Javier Ros Martín
INCLUSIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA VIVIENDA

➤ DCF

Tabla 37. DCF para N = en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>25</i>
+	Subvención	5.175,00 €									
	Ahorro en tarifa		4.815,90 €	4.912,22 €	5.010,47 €	5.110,68 €	5.212,89 €	5.870,56 €	5.987,97 €	6.107,73 €	7.746,08 €
-	Inversión	17.199,35 €									
	Coste de la electricidad		1.207,59 €	1.231,74 €	1.256,38 €	1.281,50 €	1.307,13 €	1.472,04 €	1.501,49 €	1.531,51 €	1.942,33 €
	Mantenimiento		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Asegurado		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Reemplazos								3.301,86 €		
=	FCF	-12.024,35 €	3.428,31 €	3.496,88 €	3.566,82 €	3.638,15 €	3.710,92 €	4.179,10 €	960,82 €	4.347,93 €	5.514,23 €
	FCF acumulado	-12.024,35 €	-8.596,04 €	-5.099,16 €	-1.532,34 €	2.105,82 €	5.816,73 €	29.693,83 €	30.654,65 €	35.002,58 €	94.483,72 €
	DCF	-12.024,35 €	3.265,06 €	3.171,77 €	3.081,15 €	2.993,12 €	2.907,60 €	2.443,43 €	535,02 €	2.305,80 €	1.628,37 €
	VAN	-12.024,35 €	-8.759,29 €	-5.587,52 €	-2.506,36 €	486,76 €	3.394,36 €	19.176,14 €	19.711,16 €	22.016,96 €	45.049,72 €

➤ *Output energético*

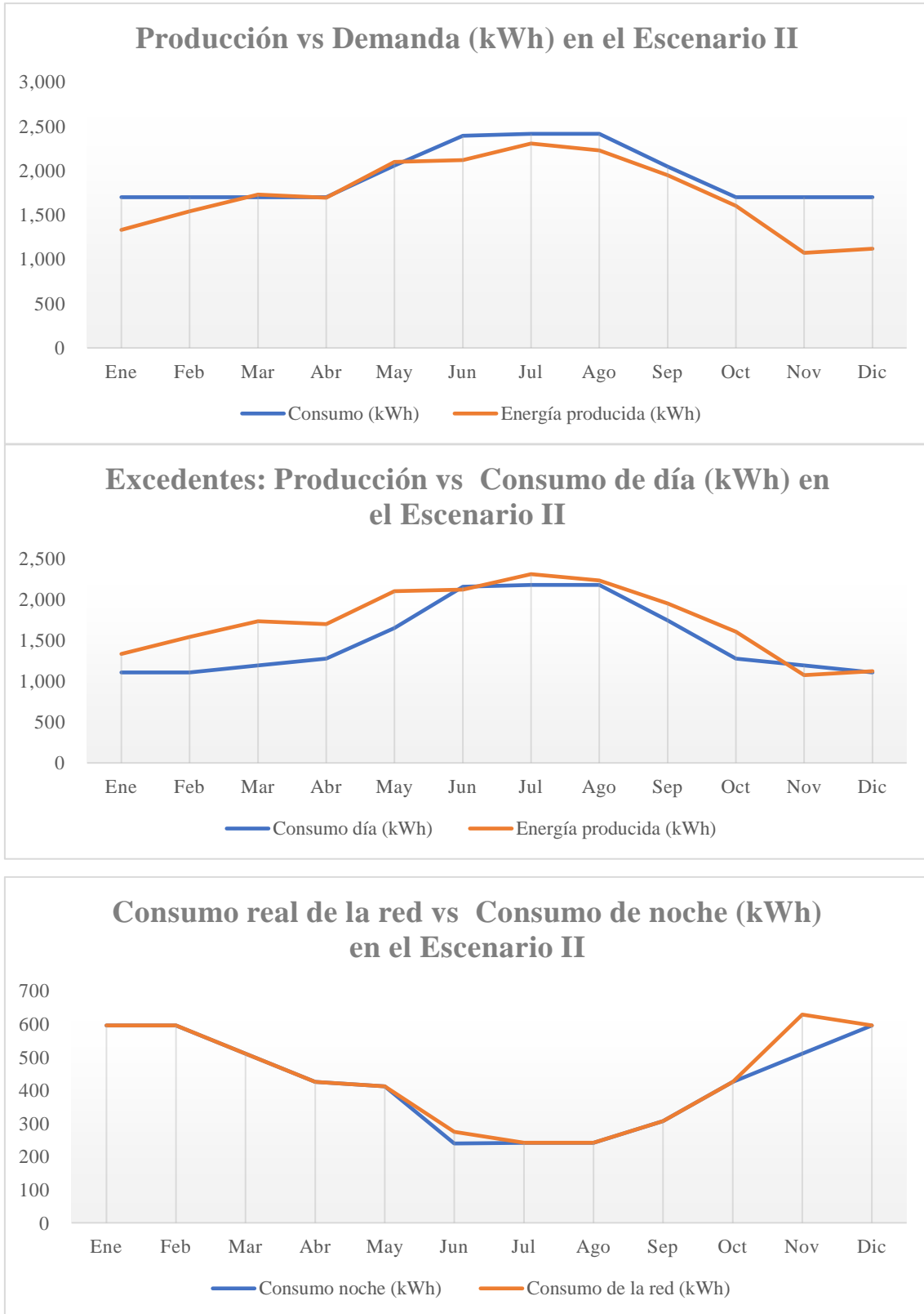


Ilustración 75. *Output energético anual del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

4.2.4.2.4. Escenario III. Geotermia

A. Cálculo de la potencia pico a partir de las demandas mensuales

Tabla 38. Cálculo de la potencia pico en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

		<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<i>A</i>	Perfil de consumo (kWh)	3.973,81	3.749,35	3.749,35	2.838,53	2.410,80	2.543,93	2.565,99	2.565,99	2.509,06	2.383,12	2.941,00	3.749,35
<i>B</i>	Consumo de día (%)	85%	85%	80%	75%	80%	85%	90%	90%	85%	75%	85%	85%
<i>C</i>	Consumo de día (kWh) [A]·[B]	3.377,74	3.186,95	2.999,48	2.128,90	1.928,64	2.162,34	2.309,39	2.309,39	2.132,71	1.787,34	2.499,85	3.186,95
<i>D</i>	Consumo de noche (%)	15%	15%	20%	25%	20%	15%	10%	10%	15%	25%	15%	15%
<i>E</i>	Consumo de noche (kWh) [A]·[D]	596,07	562,40	749,87	709,63	482,16	381,59	256,60	256,60	376,36	595,78	441,15	562,40
<i>F</i>	Gdm(0°, 30°) (kWh/m ²)	133,95	154,98	174,02	170,54	211,22	213,15	232,06	224,32	195,99	161,16	107,89	112,71
<i>G</i>	Número de módulos [A]/[F]/0,9/0,48	68,67	56,00	49,87	38,53	26,42	27,63	25,60	26,48	29,63	34,23	63,10	77,01
<i>H</i>	Número de módulos real (N)	69,00	57,00	50,00	39,00	27,00	28,00	26,00	27,00	30,00	35,00	64,00	78,00
<i>I</i>	Potencia pico real (kW) [H]·0,48	33,12	27,36	24,00	18,72	12,96	13,44	12,48	12,96	14,40	16,80	30,72	37,44

B. Elección del número de módulos (potencia pico) adecuado para la instalación

Tabla 39. Elección del número de módulos (potencia pico) el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Número de módulos (N)		69	57	50	39	27	28	26	27	30	35	64	78
A	Energía anual producida (kWh)	62.358,34	51.513,41	45.187,20	35.246,02	24.401,09	25.304,83	23.497,34	24.401,09	27.112,32	31.631,04	57.839,62	70.492,03
B	Consumo anual de la red (kWh)	5.970,61	6.461,54	7.376,87	9.705,13	13.388,37	13.019,40	13.757,34	13.388,37	12.362,77	10.886,30	6.041,45	5.970,61
C	Excedentes anuales (kWh)	32.348,68	21.994,68	16.583,79	8.970,87	1.809,18	2.343,96	1.274,41	1.809,18	3.494,82	6.537,07	27.900,79	40.482,37
D	Término de energía (€)	180,57	409,76	635,11	1109,16	1917,80	1835,71	1999,88	1917,80	1679,67	1343,20	261,48	95,82
E	Inversión (€)	46.203,05	38.289,65	33.673,50	27.387,55	20.185,63	20.724,08	19.647,18	20.185,63	21.800,98	24.839,29	42.905,80	52.138,10
F	VAN (€)	65.057,16	68.986,94	69.276,19	65.457,96	55.509,78	56.765,30	54.254,26	55.509,78	59.098,66	63.169,69	67.013,41	60.205,19
G	VAN/Inversión	1,41	1,80	2,06	2,39	2,75	2,74	2,76	2,75	2,71	2,54	1,56	1,15
H	TIR (%)	16,7%	19,9%	22,0%	25,2%	29,9%	29,6%	30,2%	29,9%	28,9%	26,8%	17,9%	14,7%
I	Payback (años)	6,04	5,15	4,67	4,08	3,45	3,48	3,41	3,45	3,56	3,84	5,67	6,75
Aclaraciones		<p>1) El cálculo de la fila A (Energía anual producida) se realiza calculando la energía producida mensual con los datos de G_{dm}(0°, 30°) mensuales provenientes del PVGIS y, posteriormente se suman todos los meses para obtener la energía total producida. Lo mismo pasa con las filas B (Consumo anual de la red), C (Excedentes anuales) y D (Término de energía). Con la Ecuación 10, se obtienen el consumo y los excedentes mensuales, los cuales se utilizan para obtener el término mensual de energía de la tarifa eléctrica. Finalmente, el valor anual que aparece en esta tabla se calcula sumando todos los meses. Las tablas de cálculo se muestran en el Anexo 8.3.2.2.4.</p> <p>2) La potencia contratada de este escenario es 15 kW en punta y 10 kW en valle.</p>											
Motivo de la elección		Se ha elegido N = 26 módulos (P _{mp} = 12,48 kW) dado que los resultados financieros muestran la mejor relación VAN/inversión, el mejor TIR y el mejor payback.											

C. Output final del Escenario III (N = 26)

➤ *KPIs más importantes*

Tabla 40. *KPIs del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	26,00
	<i>Superficie (m²)</i>	56,58
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 5K - S2
	<i>Número</i>	2,00
Datos Energéticos	<i>Potencia pico</i>	12,48 kW
	<i>Producción total</i>	23.497,34
	<i>Exceso de producción</i>	1.274,41
	<i>Demanda no satisfecha</i>	13.757,34
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	19.647,18 €
	<i>VAN</i>	54.254,26 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,76
	<i>TIR</i>	30,2%
	<i>Payback</i>	3,41

➤ *Gráfica de amortización*

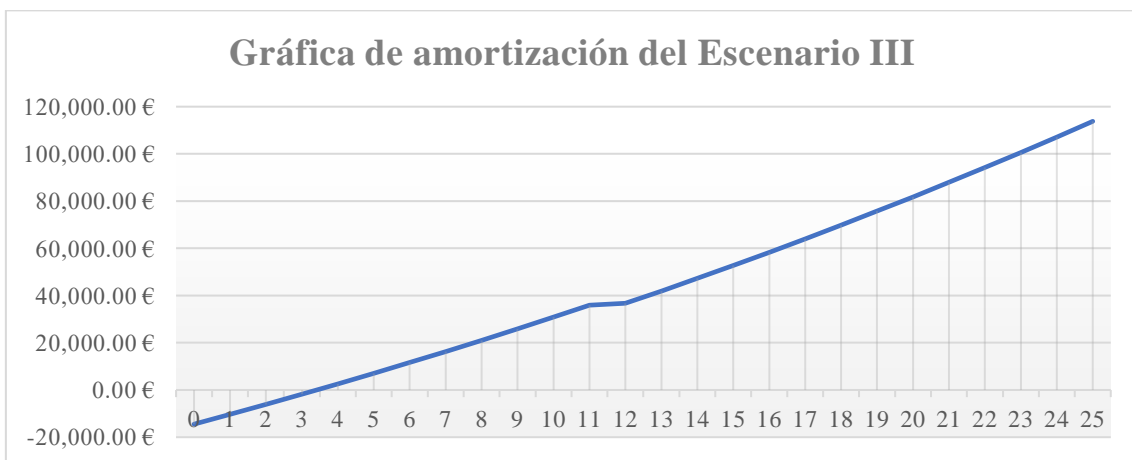


Ilustración 76. *Gráfica de amortización del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)*

Javier Ros Martín
INCLUSIÓN DE PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA VIVIENDA

➤ *DCF*

Tabla 41. *DCF para N = en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)*

		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>25</i>
+	Subvención	5.175,00 €									
	Ahorro en tarifa		7.457,82 €	7.606,97 €	7.759,11 €	7.914,30 €	8.072,58 €	9.091,04 €	9.272,86 €	9.458,32 €	11.995,43 €
-	Inversión	19.647,18 €									
	Coste de la electricidad		3.137,20 €	3.199,95 €	3.263,95 €	3.329,23 €	3.395,81 €	3.824,23 €	3.900,72 €	3.978,73 €	5.045,99 €
	Mantenimiento		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Asegurado		90,00 €	91,80 €	93,64 €	95,51 €	97,42 €	109,71 €	111,90 €	114,14 €	144,76 €
	Reemplazos								4.357,64 €		
=	FCF	-14.472,18 €	4.140,61 €	4.223,43 €	4.307,90 €	4.394,05 €	4.481,93 €	5.047,39 €	790,69 €	5.251,30 €	6.659,92 €
	FCF acumulado	-14.472,18 €	-10.331,57 €	-6.108,14 €	-1.800,24 €	2.593,81 €	7.075,74 €	35.913,78 €	36.704,47 €	41.955,77 €	113.795,30 €
	DCF	-14.472,18 €	3.943,44 €	3.830,77 €	3.721,32 €	3.615,00 €	3.511,71 €	2.951,10 €	440,29 €	2.784,88 €	1.966,69 €
	VAN	-14.472,18 €	-10.528,74 €	-6.697,96 €	-2.976,64 €	638,36 €	4.150,07 €	23.210,83 €	23.651,12 €	26.436,00 €	54.254,26 €

➤ *Output energético*

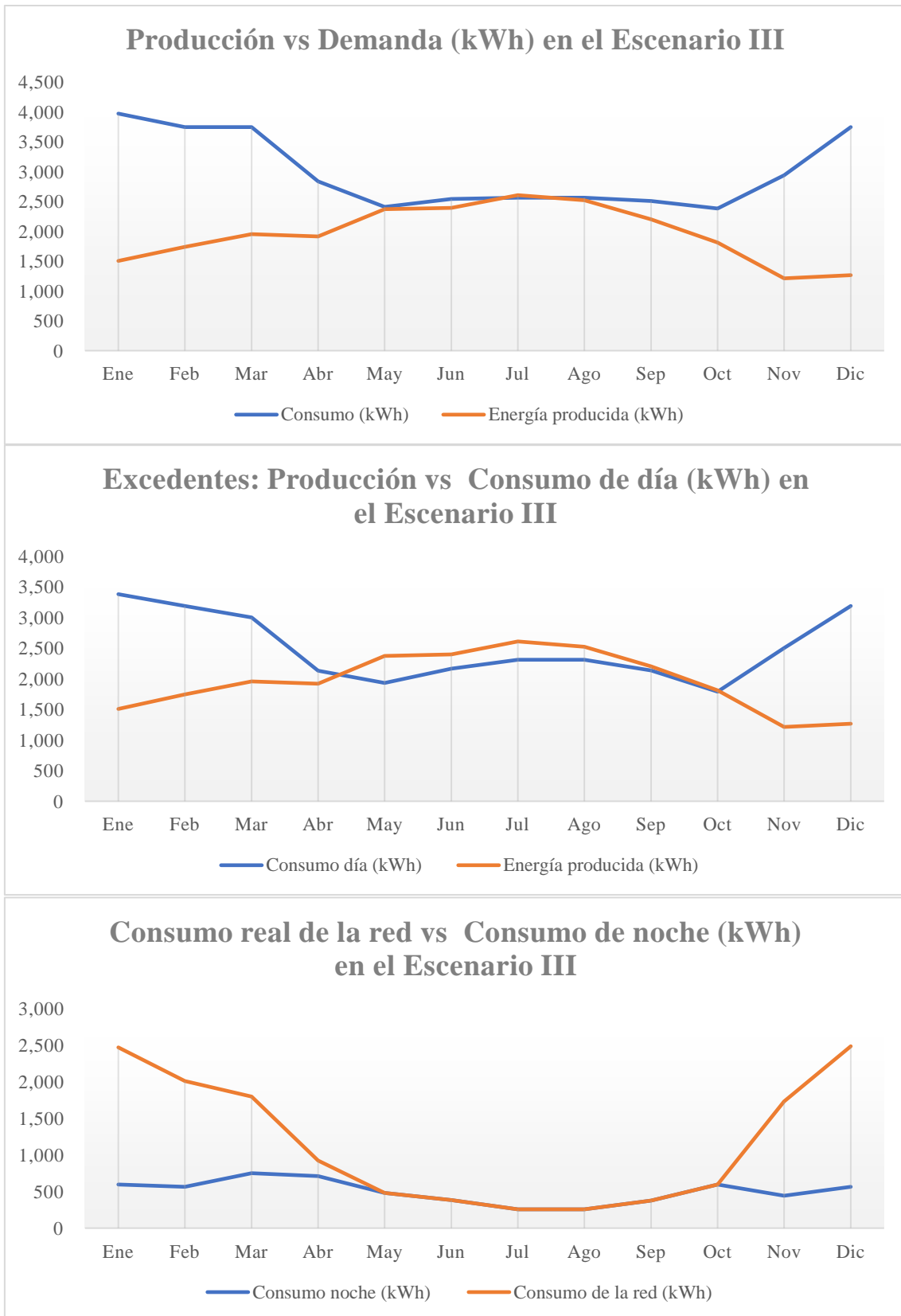


Ilustración 77. Output energético anual del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez acabada la fase de dimensionamiento y elección de todos los componentes que formarán parte de cada uno de los escenarios propuestos para la vivienda objeto de estudio, es momento de unir, resumir, analizar y comparar el extenso trabajo realizado en cada uno de los ámbitos de actuación. Para ello, la primera parte de este capítulo se centrará en la unión y análisis de cada escenario individualmente, mientras que la segunda parte consistirá en el análisis comparativo de todos los escenarios.

5.1. UNIÓN, RESUMEN Y ANÁLISIS FINANCIERO INDIVIDUAL DE CADA ESCENARIO

En este primer punto de análisis, para cada uno de los escenarios, será necesario saber exactamente cuáles han sido los componentes y las tecnologías elegidas con sus ventajas y desventajas, así como la inversión a realizar y los perfiles energéticos que permitan obtener los resultados de ahorro y de futuros gastos e ingresos que tendrán lugar a lo largo de la vida útil del proyecto. Con toda esta información, se llevará en el análisis financiero total de cada uno de los escenarios. Se trata de exactamente el mismo proceso llevado a cabo en la parte de fotovoltaica, pero ahora incluyendo todas las medidas del escenario. Toda esta información será clave para la toma de decisiones final.

En resumen, este trabajo consta de tres escenarios provenientes de las soluciones tomadas en el ámbito de la climatización. Cada uno de los escenarios proviene de la combinación de medidas que se han ido proponiendo a lo largo del trabajo en tres áreas de actuación principalmente. La combinación de las medidas tomadas en cada una de estas tres áreas que se explican a continuación son las que será necesario unir, resumir y analizar en este punto del trabajo.

- 1) **Medidas del TFG (Capítulo 2.2):** El primero de los ámbitos de actuación consistía en la recuperación y revisión de las medidas que fueron propuestas a lo largo de la realización del TFG. En cada uno de los escenarios se ha ido revisando individualmente cuáles de estas mejoras siguen aplicando. Lo único que es común a todos los escenarios es la inclusión de mejores aislamientos en las ventanas.
- 2) **Climatización (Capítulo 3.3):** Los tres escenarios propuestos provienen precisamente de tres soluciones diferentes en el ámbito de la climatización: La aerotermia, la biomasa y la geotermia.
- 3) **Instalación fotovoltaica (Capítulo 4.2):** Cada uno de los tres escenarios cuenta con su propio dimensionamiento fotovoltaico fruto de unas necesidades de consumo que son completamente diferentes. A efectos fotovoltaicos, se realizó un cuarto escenario que servía como base, en el que se dimensionó la instalación para las condiciones actuales de la vivienda, en el caso en el que no hubiese cambios en ninguna otra área. Este escenario solo sirve a niveles prácticos y como referencia, pero no será analizado individualmente como opción a efectos de este trabajo de Fin de Máster.

5.1.1. ANÁLISIS DEL ESCENARIO I. AEROTERMIA CON AGUA

5.1.1.1. Resumen de las medidas tomadas

El primero de los escenarios de climatización consistía en un sistema de aerotermia con suelo radiante que ha sustituido por completo el sistema actual de calefacción y ha conseguido, a la vez, crear un sistema de refrigeración que antes no existía en la vivienda. Su dimensionamiento se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la introducción de aislamientos adecuados en la vivienda mediante el cambio de las ventanas. Además, dado que el combustible utilizado en la bomba de calor es la electricidad, se ha diseñado una instalación fotovoltaica que sea capaz de minimizar al máximo el gasto energético (eléctrico en este caso) en la vivienda.

Las medidas tomadas en este escenario se resumen e ilustran a continuación. Cada uno de los puntos corresponde con medidas en distintas partes de la instalación y que provienen de diferentes proveedores. Los tres primeros puntos pertenecen a las medidas tomadas en el ámbito de la climatización y coinciden exactamente con los resumidos en el capítulo 3.3.1.4. Los puntos cuarto y quinto, los cuales son comunes a todos los escenarios, se corresponden con el dimensionado fotovoltaico y con los aislamientos.

- 1) **Equipos del sistema aerotérmico (circuito bomba – depósitos).** Son las medidas diseñadas por la empresa Ecopel, e incluyen los equipos principales del sistema de aerotermia y las conexiones entre sí. Estos son la bomba de calor monobloque con capacidad de 30 kW para calefacción y refrigeración el depósito de inercia de 100 L, el interacumulador ACS de 300 L y todo el kit necesario para unir dichos equipos. El precio total de las medidas, incluyendo IVA y mano de obra, es de **26.403,41 €**.



Ilustración 78. Bomba Monoblocco R32 e Interacumulador ACS (Fuente: Mitsui y Baxi)

- 2) **Circuito de suelo radiante para calefacción y refrigeración.** Son todas las medidas relacionadas con los emisores finales y con el sistema de transporte del agua hacia los mismos. Las medidas las ha llevado a cabo la empresa ESAK e incluye tubos de suelo radiante, aislamientos del suelo, tuberías de conexión con los equipos principales, bombas, termostatos y colectores (Ilustración 79). Incluyendo los precios de mano de obra y carpintería (explicados detalladamente en el Documento 2), el precio total de estas medidas, con IVA, es de **48.273,56 €**.



Ilustración 79. Suelo radiante GRAFLIPAC y bomba Grundfos Magna1. (Fuente: ESAK)

- 3) **Circuito de ACS.** Dado que en el circuito de ACS no se había llevado a cabo ninguna modificación, más que la del intercambiador ACS nombrado en el primer punto, es necesario mantener la decisión tomada durante el TFG de incluir la bomba Grundfos CME 1-2 (Ilustración 80), para mejorar la presión y el caudal del circuito. Su precio, incluyendo su instalación y portes, es de **1482,25 €**.



Ilustración 80. Esquema e imagen de la bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Grundfos)

- 4) **Instalación fotovoltaica.** De nuevo, la empresa encargada de la recepción y puesta en marcha de la instalación diseñada será la empresa Ecopel. El diseño de este escenario, que es que más demanda eléctrica debía ser capaz de suplir, implica la puesta en marcha de 28 módulos fotovoltaicos EX460-480HJT de 480 W de potencia pico y de 2 inversores R5-5K-S2 con 15 kW de potencia de entrada y 10 kW de salida (Ilustración 81). La inversión fotovoltaica es de **20.724,08 €**.

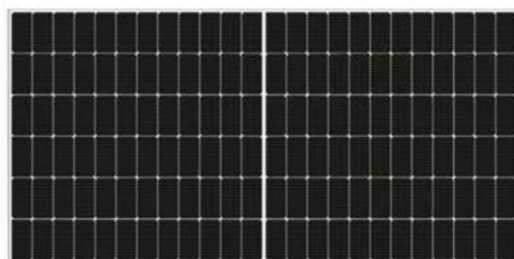


Ilustración 81. Módulos fotovoltaicos Exiom e Inversores fotovoltaicos SAJ. (Fuente: Salvador Escoda)

- 5) **Aislamientos en ventanas.** Consiste en el cambio y sustitución de un total de 13 ventanas y persianas en la vivienda, mediante la introducción de ventanas con perfiles de PVC EuroFutur del fabricante alemán Kömmerling y cristales de vidrio GuardanSun, con tecnología climalit (Ilustración 82). Además, también se introducen persianas RolaPlus de PVC de Kömmerling. Con estas medidas, el aislamiento térmico y acústico de la vivienda pasa a ser óptimo. La empresa encargada de la distribución y el montaje de las mismas es la empresa García Tamayo. El presupuesto real se incluye en el Documento 2 de este trabajo y su precio total, incluyendo IVA y puesta en marcha es de **13.860,67 €**.

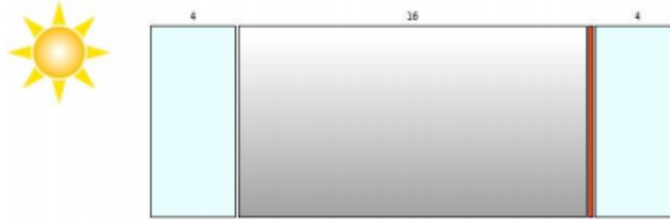


Ilustración 82. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)

La información específica, explicaciones, singularidades y desglose de los precios de cada uno de los puntos recién explicados se muestra con detalle en el Documento 2: Presupuesto de este TFM. En la Ilustración 83 se desglosa la inversión a realizar en este escenario en función de los puntos mostradas anteriormente. Posteriormente, en la Tabla 42 se muestran todas las medidas exactas que se han tomado en cada uno de los puntos de actuación. Con todas estas medidas en mente, la inversión total de este escenario será de **110.743,97 €**, que es la más grande de los tres escenarios.

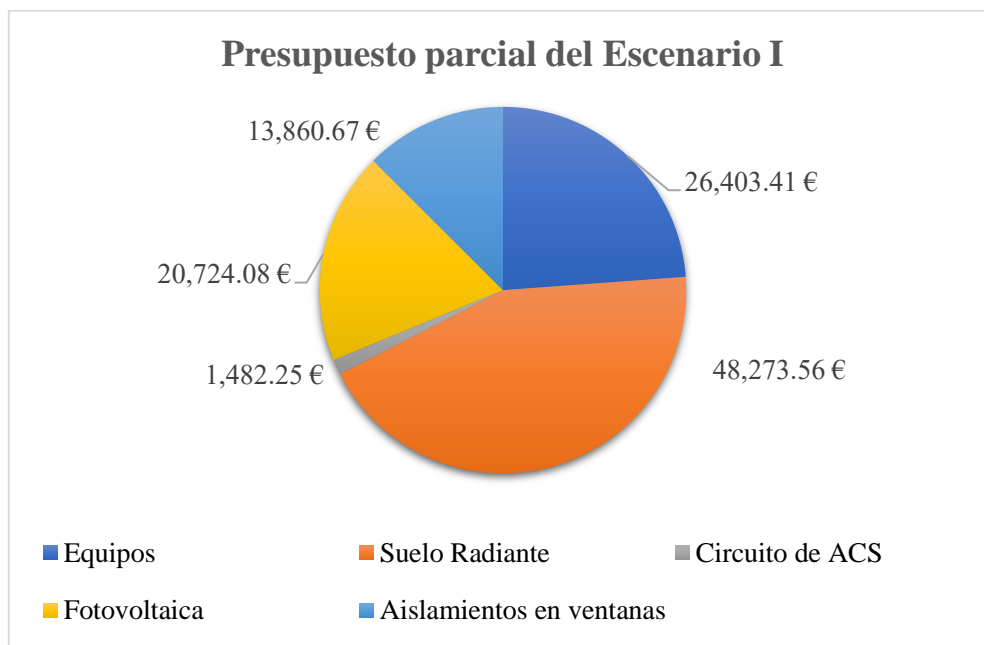


Ilustración 83. Presupuesto parcial del Escenario I (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 42. Resumen de los cambios en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

<i>Equipos de Aerotermia</i>	Bomba de calor Monoblocco R32 de Mitsui	26.403,41 €
	Depósito de Inercia de 100 L de Mitsui	
	Interacumulador ACS 300 L de Roca	
	Kit de Aerotermia	
	Extras: Mano de obra, conexionado de tubos, etc.	
<i>Circuito de Suelo Radiante</i>	Tubos y aislamientos	48.273,56 €
	Colectores y armarios	
	Tuberías de conexión	
	Bomba Grundfos Magna1	
	Termostatos	
	Extras: Carpintería	
<i>ACS</i>	Bomba Grundfos CME 1-2 A	1.482,25 €
<i>Instalación FV</i>	28 Módulos fotovoltaico EX460-480HJT de 480 W	20.724,08 €
	2 Inversores SAJ Serie R5 de 5K - S2	
	Extras: Puesta en marcha, cableados, etc.	
<i>Aislado en Ventanas</i>	13 Perfiles de PVC EuroFutur Elegance de Kömmerling	13.860,67 €
	13 Vidrios GuardanSun 4/16/4	
	13 Persianas RolaPlus PVC de Kömmerling	
	Extras: Portes, instalación, etc.	
		110.743,97 €

5.1.1.2. Análisis energético

5.1.1.2.1. *Cambios en la fuente de energía*

El resultado de este escenario es la eliminación por completo del gas, para sustituirlo por la electricidad. Básicamente, a nivel energético instalado en la vivienda, los cambios producidos vienen dados por la Tabla 43. Como se puede ver, el mayor cambio es que aparte de haber introducido una instalación de refrigeración, la potencia necesaria para abastecer a toda la red de calefacción se reduce enormemente. Es decir, aunque la instalación de calefacción actual requiere de 32 kW de energía para calentar adecuadamente la instalación (antes de la instalación de aislamientos se requerían 36 kW), con la instalación de la bomba de calor aerotérmica, únicamente son necesarios 7,70 kW de potencia eléctrica para poder entregarla.

Tabla 43. Resumen de los cambios en materia energética del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Fuente de gasto	Instalación actual			Instalación propuesta		
	Modo de trabajo	Potencia pico	Combustible	Sustituto	Consumo pico	Combustible
Calefacción	Caldera de Gas	40 kW	Gas	Bomba de calor aire/agua	7,70 kW	Electricidad
Refrigeración	Inexistente (aparatos de ventilación)	0 kW	Electricidad	Bomba de calor aire/agua	7,75 kW	Electricidad
Iluminado, electrodomésticos, etc	Bombillas, lavadoras, etc.	5 kW punta y valle	Electricidad	Sin cambios	15 kW punta y 10 kW valle	Electricidad

5.1.1.2.2. Ahorro en calefacción

La mayoría de las medidas que se han tomado en este proyecto a largo plazo que comenzaba con el TFG estaban encaminadas a bajar el gasto energético en calefacción. La primera de las medidas que cumplía directamente con su cometido era la de incluir aislamientos adecuados en la vivienda objeto de estudio. De este modo, la energía necesaria para calentar los espacios de la vivienda es menor. Posteriormente, el hecho de cambiar y modernizar todo el circuito de tuberías, combinándolo con la tecnología de las bombas de calor reversibles, hace que la eficiencia aumente de tal manera que el ahorro se maximice.

La Ilustración 84 (proveniente de la Tabla 17) muestra las diferencias de consumo (medido en kWh) que habría en la instalación de calefacción, suponiendo que la utilización fuera la misma que la actual (4 personas con las mismas costumbres). Aunque el consumo actual es de gas, y el nuevo es de electricidad (más cara que el gas), la realidad es que en términos energético la diferencia es abismal. Mientras que el consumo actual anual es de exactamente **61.341 kWh**, el consumo propuesto por la nueva instalación sería de únicamente **9.252 kWh**, es decir, se produciría un ahorro energético del **85%**.

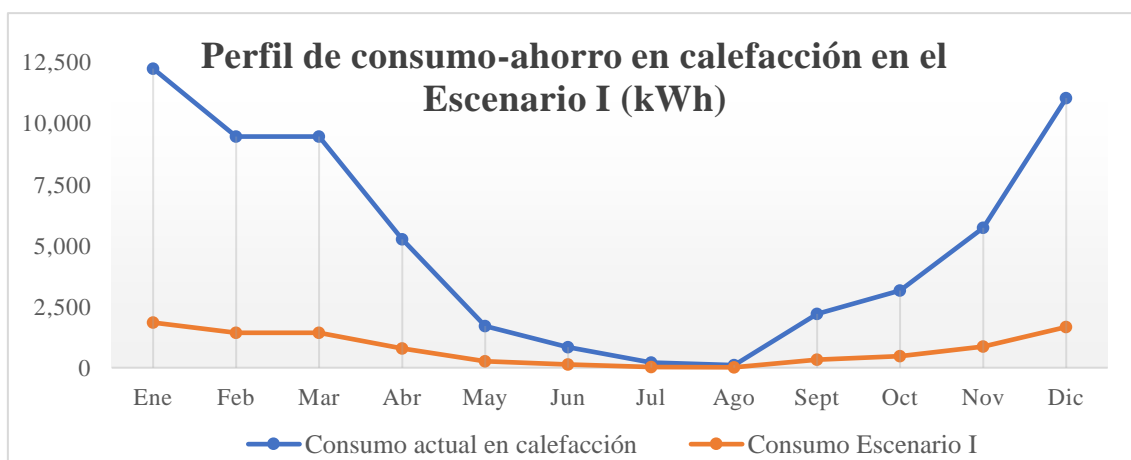


Ilustración 84. Ahorro en calefacción del Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.1.1.2.3. Previsiones energéticas reales

Realmente, el ahorro energético explicado en el apartado anterior no es un ahorro real, dado que lo que se espera es que la utilización de la vivienda en el futuro será todavía mayor. Además, en este caso, al gasto energético total, el cual es puramente eléctrico, hay que sumarle la parte de refrigeración y la parte de iluminación, electrodomésticos, etc. De este modo, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado 3.4.1.1, se obtenía el perfil de consumo esperado para el Escenario I, el cual se desglosa a continuación, en la Ilustración 85.

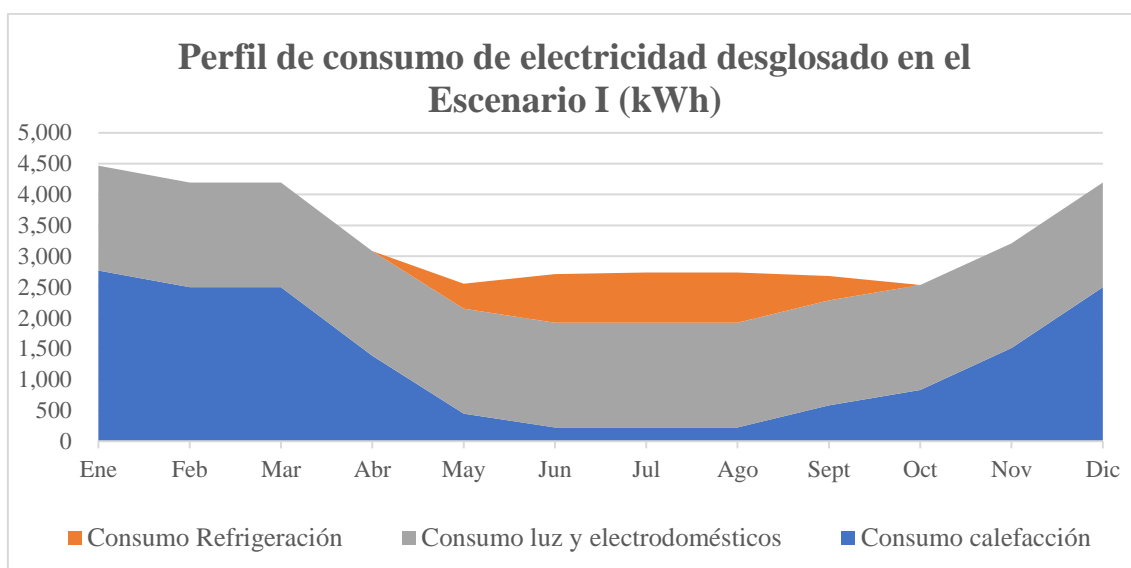


Ilustración 85. Perfil de consumo de electricidad desglosado en el Escenario I (kWh).
(Fuente: Elaboración propia)

Dicho perfil de consumo total ha sido la base para el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica de la vivienda, la cual está compuesta por 28 módulos con una superficie de 60,93 m². Dicha instalación de paneles solares fotovoltaicas, que ha sido dimensionada para minimizar el gasto eléctrico a lo largo del año, muestra las características energéticas mostradas en la Tabla 44.

Tabla 44. Datos energéticos del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Potencia pico	13,44 kW	
Consumo total (Ilustración 85)	39.293,01 kWh	Ilustración 86
Producción total	25.304,83 kWh	
Exceso de producción	1.527,23 kWh	Ilustración 87
Demanda no satisfecha	15.515,41 kWh	

Tal y como se aprecia en la Ilustración 86, realmente solo en los meses con muchas horas de luz y poco consumo la instalación es autosuficiente, teniendo que consumir bastante en los meses de invierno. No obstante, teniendo en cuenta que la energía producida únicamente es capaz de abastecer la demanda diurna, entre abril y octubre se producen excedentes, mientras que en los demás meses hay una gran cantidad de demanda no satisfecha, la cual está compuesta por el consumo nocturno, más todo el consumo invernal que la instalación no es capaz de producir debido a la falta de luz. Este hecho se muestra más claramente en la Ilustración 87.

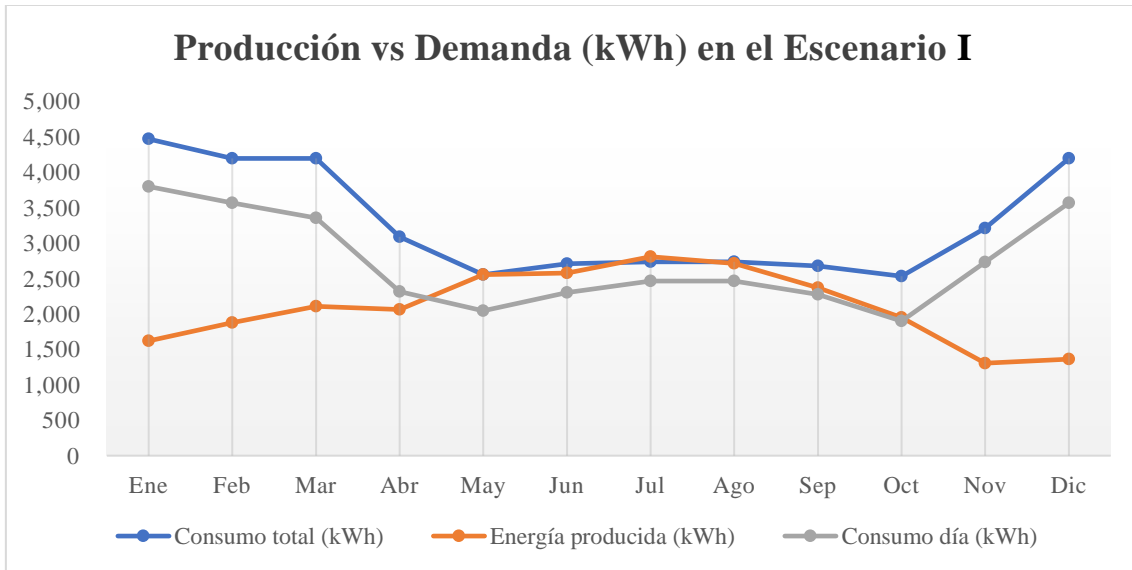


Ilustración 86. Producción vs demanda total de electricidad en el Escenario I (kWh).
(Fuente: Elaboración propia)

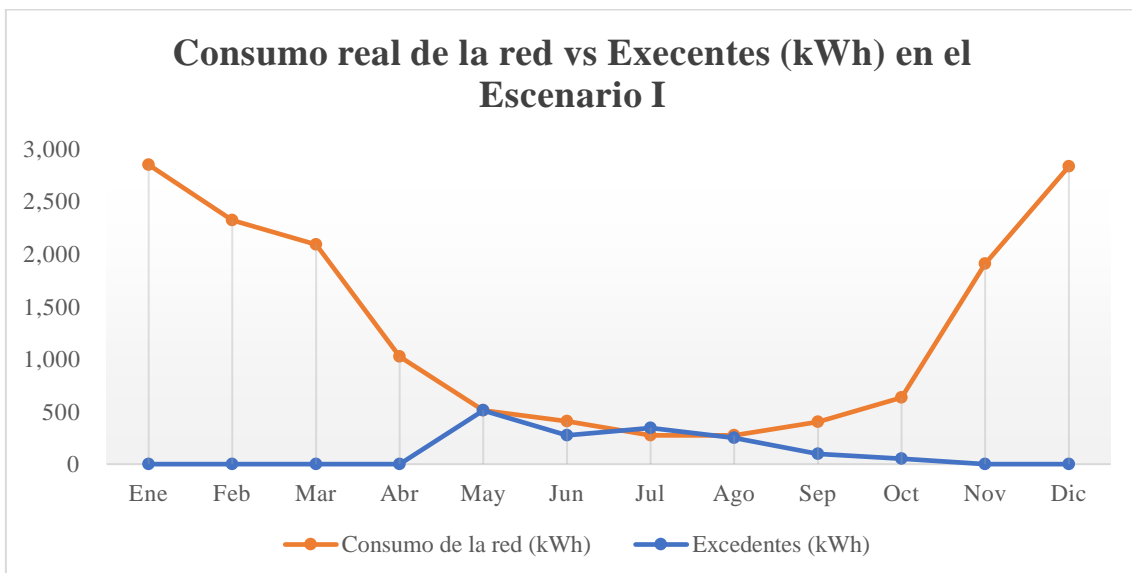


Ilustración 87. Consumo de la red vs excedentes de electricidad en el Escenario I (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.1.1.3. Análisis financiero

Inicialmente, para realizar el análisis financiero global de cada escenario, se va a utilizar exactamente la misma metodología utilizada en el capítulo 4.2.4.1.3, es decir, se explicarán los gastos e ingresos futuros de la instalación para finalmente realizar un DCF que permita estudiar los KPIs de rentabilidad. Además, se asumirá la misma vida útil de **25 años** para todas las medidas tomadas, así como el mismo WACC (**5%**) y la misma tasa de inflación (**2%**), dado que las premisas son exactamente las mismas.

Hace falta recalcar que el análisis realizado en el apartado fotovoltaico era un análisis marginal que, aunque también tendrá importancia en la toma de decisiones, únicamente servía para optimizar la inversión de la instalación fotovoltaica. Por ello, los resultados que se obtuvieron en cuestiones de VAN, TIR y payback solo tendrían sentido en el caso de que no hubiese que realizar la inversión en climatización y aislamientos. En este punto del trabajo, con todas las medidas tenidas en cuenta, ya se está en disposición de realizar un análisis mucho más fidedigno y global de los escenarios que permita sacar conclusiones reales acerca de la rentabilidad total del escenario. No obstante, el análisis financiero que se va a realizar en este apartado debe ser interpretado cuidadosamente para poder ofrecer conclusiones satisfactorias.

En la inversión a realizar de 110.743,97 € se incluyen medidas que, aunque también aportan ahorro mensual, también son necesarias por temas de confort, sostenibilidad o antigüedad. Este es el caso, por ejemplo, de la inclusión de refrigeración, mejores aislamientos, e incluso la sustitución de la caldera de gas. De este modo, y teniendo en cuenta la importante cuantía a desembolsar es que financieramente hablando la inversión pueda salir rentable. Aun así, el DCF ofrecerá importantes KPIs financieros que permitirán valorar y comparar financieramente hablando la rentabilidad de los escenarios. Además, el DCF y su análisis de gastos e ingresos permitirá obtener el coste normalizado de cada uno de los escenarios, el cual será otro de los puntos de decisión fundamentales dentro de este trabajo.

5.1.1.3.1. *Gastos globales*

- **Inversión:** Es el desembolso inicial a realizar en el año 0 por la compra de los materiales, construcción y puesta en marcha de la instalación de aerotermia y fotovoltaica. La cuantía total asciende a **110.743,97 €**, tal y como se muestra en la Tabla 42.
- **Gasto energético:** En este escenario, el único gasto energético será el de la **tarifa eléctrica**. Por tanto, el gasto energético será el pago mensual de la electricidad que se dará cada año a lo largo de los 25 años de vida útil. Se espera que vaya aumentando anualmente conforme a la inflación y a la tasa de descuento. En la Ecuación 8 se mostraba la forma de calcularla, para lo cual se debía tener en cuenta la potencia contratada del escenario (15 kW en punta y 10 kW en valle), así como las cuantías mensuales del consumo de la red y los excedentes (Ilustración 87). El cálculo de la tarifa eléctrica del primer año se muestra en la Tabla 45.

Tabla 45. Cálculo del término de la tarifa eléctrica en el año 1 en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Consumo total (kWh)	Consumo de día (kWh)	Energía producida (kWh)	Consumo de la red (kWh)	Excedentes (kWh)	Gasto en electricidad
<i>Ene</i>	4.468	3.797	1.620	2.847	0	595,28 €
<i>Feb</i>	4.194	3.565	1.874	2.320	0	489,79 €
<i>Mar</i>	4.194	3.356	2.104	2.089	0	450,70 €
<i>Abr</i>	3.086	2.314	2.062	1.023	0	245,62 €
<i>May</i>	2.556	2.045	2.554	511	510	117,18 €
<i>Jun</i>	2.710	2.303	2.578	406	275	110,52 €
<i>Jul</i>	2.736	2.462	2.807	274	345	82,37 €
<i>Ago</i>	2.736	2.462	2.713	274	251	88,32 €
<i>Sep</i>	2.676	2.275	2.370	401	96	120,94 €
<i>Oct</i>	2.531	1.899	1.949	633	51	169,59 €
<i>Nov</i>	3.211	2.729	1.305	1.905	0	413,98 €
<i>Dic</i>	4.194	3.565	1.363	2.831	0	592,19 €
Totales	39.293	32.773	25.305	15.515	1.527	3.476,49 €

- **Gastos de Mantenimiento:** Según la empresa Ecopel, el mantenimiento de la instalación solar era de 90 € anuales. Dado que también hay que mantener la instalación de aerotermia y el circuito de suelo radiante, se va a suponer un gasto total de mantenimiento de **200 €** anuales para todas las medidas tomadas, que serán corregidos cada año por la inflación.
- **Gastos de Asegurado de la instalación:** Según la empresa Ecopel, el mantenimiento de la instalación solar era de 90 € anuales. Contando con todos los equipos instalados, dado que tienen menos riesgo de avería que los paneles, se supondrá un gasto total de **150 €**.
- **Reemplazos:** Dado que la vida útil de los inversores es aproximadamente de unos 10 años, habrá que asumir una inversión extra en concepto de inversores (2.188 €) ajustada por la inflación en el año 12 (justo en el ecuador de la vida útil). Además, en la parte de fotovoltaica se asumían 1.000 € extra en concepto de cableados que pudieran estar averiados. Utilizando una hipótesis parecida, es normal que haya tuberías, válvulas, conexionados y bombas hidráulicas que también tendrán que ser reemplazados en dicho momento. Se asumirá que esto supondrá otros 1.000 € extra.

$$2.188 \cdot (1 + 21\%) \cdot (1 + 2\%)^{12} + 2.000 = 5.357,64 \text{ €}$$

5.1.1.3.2. Ingresos globales

- **Subvenciones:** Una de las razones por las que era un buen momento para llevar a cabo la instalación de paneles solares fotovoltaicas era por las subvenciones recibidas. Actualmente, en la Comunidad Madrid, gracias a los Fondos Next Generation, se pretende destinar unos 10.000.000 € para incentivar el autoconsumo en los años 2022 y 2023 (Ojeda, G). Estas subvenciones cubrirán entre el 25 y el 35% del desembolso inicial realizado. De este modo, según la empresa instaladora Ecopel, la cuantía subvencionable por la parte de fotovoltaica es de exactamente 5.175 €. Además, también son subvencionables 3.000 € en concepto de aerotermia y 3.600 € por el hecho de poner suelo radiante. Todo ello suma un monto subvencionable de **11.775,00 €**.
- **Tarifa eléctrica:** Igual que supondrá un gasto a futuro, el “ingreso” más importante será el ahorro que se produciría en la factura por el hecho de instalar los paneles solares. Dado que en la parte de costes se han puesto los nuevos costes reales que se tendrán en la tarifa, para la parte de ingresos hay que poner exactamente los costes actuales de electricidad que se pagarían en la vivienda si no hubiese habido ni paneles solares fotovoltaicos, ni la nueva forma de climatización. De este modo, realmente se trata del mismo consumo actual, pero corregido teniendo en cuenta el extra de utilización en la vivienda. El cálculo del consumo eléctrico corregido por utilización se llevó a cabo en el apartado 3.4.1.1 y era de exactamente **23.618 kWh** anuales. Utilizando la Ecuación 6:

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 23.618 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = \mathbf{4.716,43 \text{ €}}$$

- **Gas:** Por último, habrá que tener en cuenta que se dejará de pagar la factura de gas natural. De nuevo, se trata de exactamente el gasto actual en gas, pero corregido por la utilización. Dicho consumo, calculado también en el apartado 3.4.1.1 resultaba ser de exactamente **103.921 kWh** anuales, tras aplicarle un factor de 1,7 al consumo actual que es de alrededor de 61.341 kWh. El precio del gas que se supondrá para el primer año y que irá subiendo conforme al IPC será exactamente igual que el gasto medio de las facturas que se obtuvo en los años 2021 y 2022 que se mostraban en la Tabla 1. En dicha tabla, el importe total pagado entre julio de 2021 y julio de 2022 ascendía a 4.539,37, mientras que el consumo total había sido de 61.341 kWh, tal y como se acaba de comentar. Dichos datos hacen que el precio del gas sea de exactamente **0,074 €/kWh**. Este precio, que incluye la parte fija y el tope del gas curiosamente, coincide exactamente con el valor del gas en el Mercado libre en julio de 2023 según Selectra.

$$103.921 \text{ kWh} \cdot 0,074 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{7.690,15 \text{ €}}$$

5.1.1.3.3. DCF

Tabla 46. DCF del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
+	Subvención	11.775,00 €									
	Ahorro en gas		7.690,15 €	7.843,95 €	8.000,83 €	8.160,85 €	8.324,07 €	8.490,55 €	8.660,36 €	8.833,57 €	9.010,24 €
	Ahorro en tarifa		4.716,43 €	4.810,76 €	4.906,97 €	5.005,11 €	5.105,22 €	5.207,32 €	5.311,47 €	5.417,70 €	5.526,05 €
-	Inversión	110.743,97 €									
	Coste de la electricidad		3.476,49 €	3.546,02 €	3.616,94 €	3.689,28 €	3.763,06 €	3.838,33 €	3.915,09 €	3.993,39 €	4.073,26 €
	Mantenimiento		200,00 €	204,00 €	208,08 €	212,24 €	216,49 €	220,82 €	225,23 €	229,74 €	234,33 €
	Asegurado		150,00 €	153,00 €	156,06 €	159,18 €	162,36 €	165,61 €	168,92 €	172,30 €	175,75 €
	Reemplazos										
=	FCF	-98.968,97 €	8.580,09 €	8.751,69 €	8.926,73 €	9.105,26 €	9.287,37 €	9.473,11 €	9.662,57 €	9.855,83 €	10.052,94 €
	FCF acumulado	-98.968,97 €	-90.388,88 €	-81.637,19 €	-72.710,46 €	-63.605,20 €	-54.317,84 €	-44.844,72 €	-35.182,15 €	-25.326,32 €	-15.273,38 €
	DCF	-98.968,97 €	8.171,51 €	7.938,04 €	7.711,24 €	7.490,92 €	7.276,89 €	7.068,98 €	6.867,01 €	6.670,81 €	6.480,22 €
	VAN	-98.968,97 €	-90.797,46 €	-82.859,41 €	-75.148,17 €	-67.657,25 €	-60.380,36 €	-53.311,38 €	-46.444,36 €	-39.773,55 €	-33.293,34 €

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

		<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
+	Subvención										
	Ahorro en gas	9.190,44 €	9.374,25 €	9.561,73 €	9.752,97 €	9.948,03 €	10.146,99 €	10.349,93 €	10.556,93 €	10.768,07 €	10.983,43 €
	Ahorro en tarifa	5.636,57 €	5.749,30 €	5.864,29 €	5.981,57 €	6.101,21 €	6.223,23 €	6.347,69 €	6.474,65 €	6.604,14 €	6.736,22 €
-	Inversión										
	Coste de la electricidad	4.154,73 €	4.237,82 €	4.322,58 €	4.409,03 €	4.497,21 €	4.587,15 €	4.678,90 €	4.772,48 €	4.867,93 €	4.965,28 €
	Mantenimiento	239,02 €	243,80 €	248,67 €	253,65 €	258,72 €	263,90 €	269,17 €	274,56 €	280,05 €	285,65 €
	Asegurado	179,26 €	182,85 €	186,51 €	190,24 €	194,04 €	197,92 €	201,88 €	205,92 €	210,04 €	214,24 €
	Reemplazos			5.357,64 €							
=	FCF	10.254,00 €	10.459,08 €	5.310,62 €	10.881,63 €	11.099,26 €	11.321,25 €	11.547,67 €	11.778,62 €	12.014,20 €	12.254,48 €
	FCF acumulado	-5.019,38 €	5.439,70 €	10.750,33 €	21.631,96 €	32.731,22 €	44.052,46 €	55.600,14 €	67.378,76 €	79.392,96 €	91.647,44 €
	DCF	6.295,07 €	6.115,21 €	2.957,15 €	5.770,76 €	5.605,88 €	5.445,71 €	5.290,12 €	5.138,98 €	4.992,15 €	4.849,51 €
	VAN	-26.998,27 €	-20.883,06 €	-17.925,91 €	-12.155,15 €	-6.549,26 €	-1.103,55 €	4.186,57 €	9.325,54 €	14.317,69 €	19.167,21 €

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

		<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>
+	Subvención						
	Ahorro en gas	11.203,10 €	11.427,16 €	11.655,70 €	11.888,82 €	12.126,59 €	12.369,12 €
	Ahorro en tarifa	6.870,95 €	7.008,37 €	7.148,53 €	7.291,50 €	7.437,33 €	7.586,08 €
-	Inversión						
	Coste de la electricidad	5.064,59 €	5.165,88 €	5.269,20 €	5.374,58 €	5.482,07 €	5.591,72 €
	Mantenimiento	291,36 €	297,19 €	303,13 €	309,20 €	315,38 €	321,69 €
	Asegurado	218,52 €	222,89 €	227,35 €	231,90 €	236,53 €	241,27 €
	Reemplazos						
=	FCF	12.499,57 €	12.749,56 €	13.004,55 €	13.264,64 €	13.529,94 €	13.800,54 €
	FCF acumulado	104.147,01 €	116.896,57 €	129.901,13 €	143.165,77 €	156.695,71 €	170.496,24 €
	DCF	4.710,96 €	4.576,36 €	4.445,60 €	4.318,59 €	4.195,20 €	4.075,34 €
	VAN	23.878,16 €	28.454,52 €	32.900,13 €	37.218,71 €	41.413,91 €	45.489,25 €

Inversión	110.743,97 €
VAN	45.489,25 €
VAN/Inversión	0,41
TIR	8,8%
Payback	10,48

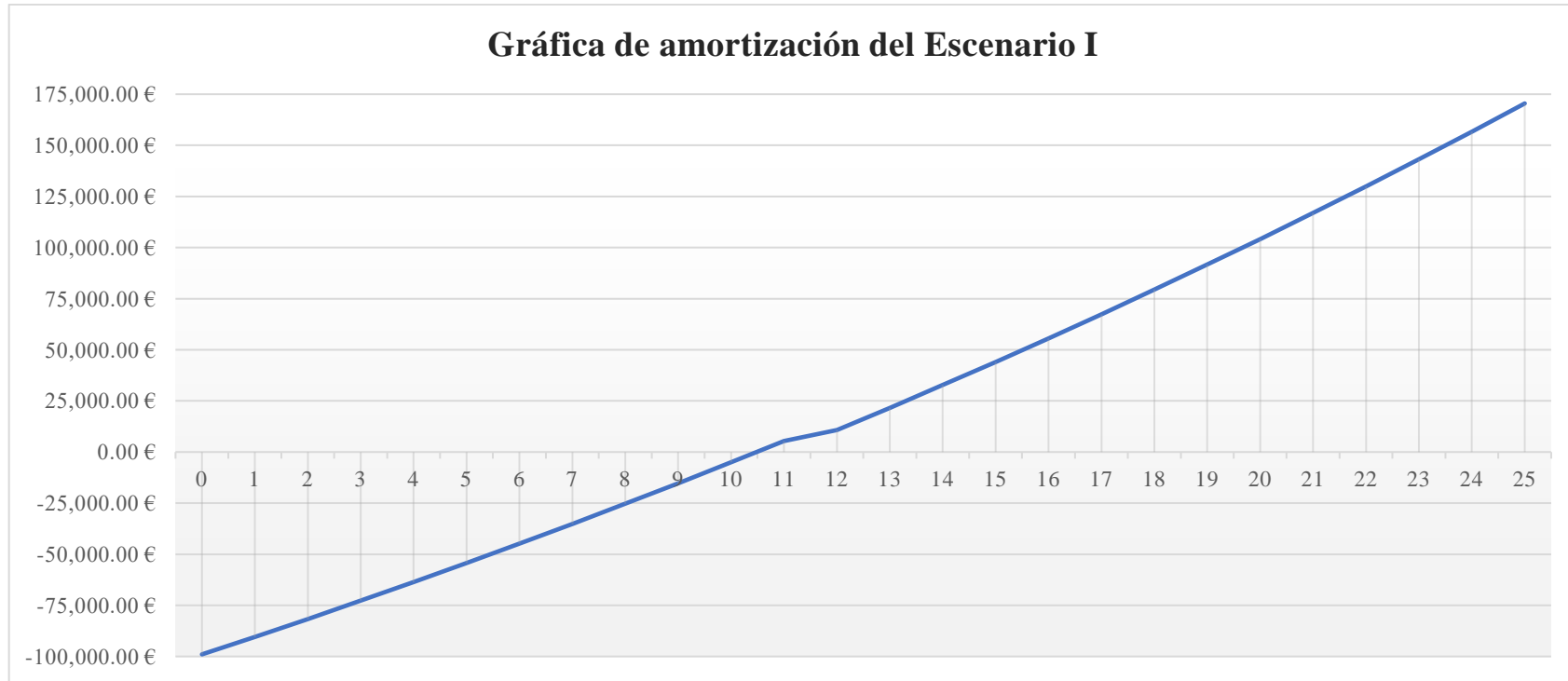


Ilustración 88. Gráfica de amortización del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.1.3.4. Análisis marginal

El análisis marginal del escenario consiste en tratar las medidas individualmente desde un punto de vista financiero. De este modo, se puede ver qué tecnologías de climatización tienen un mayor coste normalizado y, posteriormente, se puede analizar el efecto individual de poner paneles solares fotovoltaicos, que son básicamente los resultados obtenidos en el apartado 4.2.4.1.3 del dimensionado fotovoltaico.

➤ *Coste normalizado de la aerotermia*

El coste normalizado del escenario viene dado por la Ecuación 11, en el que se incluyen, distribuyen y proyectan a lo largo de los 25 años de vida útil del proyecto tanto el CAPEX (inversión), como el OPEX (gastos operativos anuales, en este caso los del coste eléctrico, los de mantenimiento y los de asegurado). En este caso, se tiene en cuenta el *wacc* (*i*) del 5 % y el IPC (*r*) del 2% para todos los gastos operativos. Además, los valores de f_a y f_Σ son constantes dado que el *wacc* y el IPC son los mismos para todos los gastos. Este coste será mi útil para comparar la rentabilidad de los tres escenarios.

Ecuación 11. Ecuación del Coste normalizado (Fuente: Ingeniería Energética, ICAI)

$$C_N = \underbrace{INV \cdot f_a}_{CAPEX} + \underbrace{C_{F,0} \cdot f_{\Sigma,F} \cdot f_a + C_{OM,0} \cdot f_{\Sigma,OM} \cdot f_a}_{OPEX}$$

$$f_a = \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} = \frac{5\% \cdot (1+5\%)^{25}}{(1+5\%)^{25} - 1} = 0,071$$

$$k_x = \frac{1+r}{1+i} = \frac{1+2\%}{1+5\%} = 0,9714$$

$$f_\Sigma = \frac{k_x \cdot (1 - k_x^N)}{1 - k_x} = \frac{0,9714 \cdot (1 - 0,9714^{25})}{1 - 0,9714} = 17,528$$

Utilizando la Ecuación 11 como base, el coste normalizado total se muestra en la Tabla 47 y se explica a continuación.

Tabla 47. Coste normalizado del Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

CAPEX	OPEX		Coste normalizado de la Aerotermia
	Combustible	Mantenimiento	
44,22 €/MWh	42,72 €/MWh	1,73 €/MWh	88,67 €/MWh
49,87%	48,18%	1,95%	100%

• **CAPEX:**

- **Inversión:** La inversión a realizar en el apartado aerotérmico, es decir, los tres primeros puntos de la Tabla 42, que suman un desembolso de **76.159,22 €**.
- **Producción:** Hace referencia a la producción calefacción y refrigeración anual. La producción de calefacción a la que tiene que hacer frente es de 103.921 kWh y la de refrigeración es de 18.375 kWh (véase apartado 3.4.1.1). Dado que todo es eléctrico y se realiza por el mismo sistema, ambos valores se pueden sumar, dando lugar a una producción de frío/calor anual de **122.296 kWh**.

$$CAPEX = \frac{76.159,22 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 0,071 = 44,22 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

• **OPEX:**

- **Coste de combustible:** Si no hubiese paneles solares fotovoltaicos, el consumo de electricidad en la vivienda sería el correspondiente a los 39.293 kWh que se consumen en el Escenario I. No obstante, solo serían atribuibles a aerotermia el consumo en calefacción y refrigeración, quitando la parte de la luz. Esto hace que el consumo sea de 18.893 kWh (Tabla 17). De este modo, según la Ecuación 6, el precio pagado por la tarifa eléctrica con ese consumo sería de:

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 15\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 10\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 18.893 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = 4.198,00 \text{ €}$$

De este modo, el coste normalizado del combustible, teniendo en cuenta la misma producción de **122.296 kWh** es:

$$C_{F,E} = \frac{4.198,00 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 17,528 \cdot 0,071 = 42,72 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

- **Mantenimiento y asegurado:** La parte de mantenimiento y asegurado correspondiente a la instalación aerotérmica es únicamente de **110 €** en concepto de mantenimiento y **60 €** en concepto de asegurado.

$$C_{M,E} = \frac{170,00 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 17,528 \cdot 0,071 = 1,73 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

➤ *DCF de la instalación solar fotovoltaica para aerotermia*

Dando por hecho que la instalación de aerotermia ya existiese previamente en la vivienda, entonces, el DCF que se explicó y realizó en el apartado 4.2.4.1.3 con el fin de optimizar la instalación fotovoltaica, cobraría sentido. Es decir, los resultados que se obtuvieron y que se resumen de nuevo a continuación son útiles en el caso en el que se quiera estudiar la rentabilidad de la inversión por separado. Los resultados más importantes de aquel dimensionamiento se muestran en la Tabla 48 y en la Ilustración 89.

Tabla 48. KPIs financieros del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV.
(Fuente: Elaboración propia)

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	28,00
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 5K - S2
	<i>Número</i>	2
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	20.724,08 €
	<i>VAN</i>	58.550,29 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,83
	<i>TIR</i>	30,2%
	<i>Payback</i>	3,41

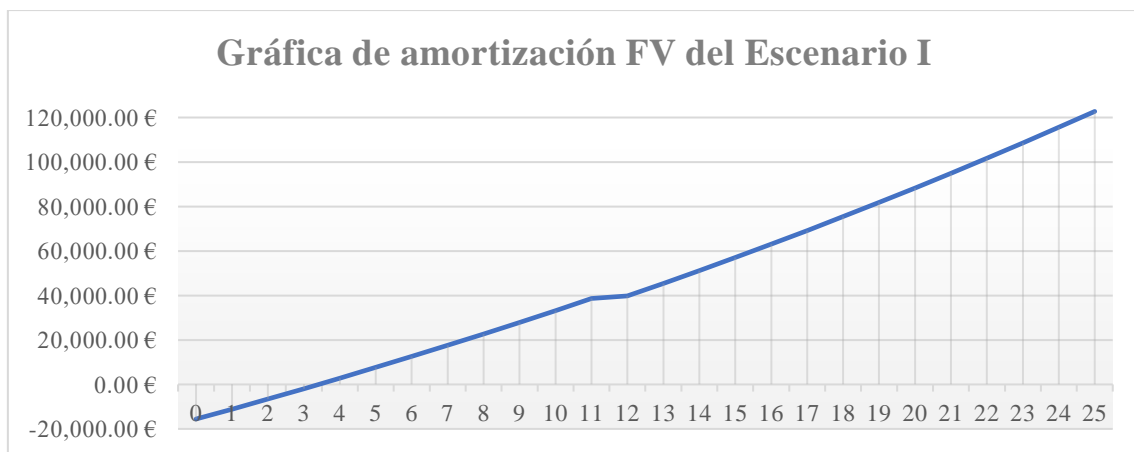


Ilustración 89. Gráfica de amortización del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.2. ANÁLISIS DEL ESCENARIO II. BIOMASA Y BOMBA AIRE/AIRE

5.1.2.1. Resumen de las medidas tomadas

En este segundo escenario la solución adoptada consiste en separar la parte de calefacción de la de refrigeración. Por un lado, en la parte del circuito de agua caliente, la solución ha sido la de reemplazar la caldera actual de gas por una caldera de biomasa. Además, aunque la configuración del circuito se mantendrá, se ha decidido modernizar toda la instalación realizando cambios en materia de bombeo, en los elementos terminales y en otros aparatos de importancia. Por el otro lado, se ha diseñado de cero una instalación de refrigeración de aire acondicionado por aerotermia.

Tal y como pasaba en el escenario anterior, para el dimensionamiento de la instalación, se ha tenido en cuenta la introducción de aislamientos adecuados en la vivienda mediante el cambio de las ventanas y, además, se ha diseñado una instalación fotovoltaica acorde con el gasto eléctrico del escenario. Las medidas tomadas en este escenario se resumen e ilustran a continuación. El primer y segundo punto pertenecen a las soluciones del sistema de agua caliente, mientras que el tercero se corresponde con la parte de refrigeración. Lo puntos cuarto y quinto, salvo por pequeñas modificaciones, se repiten con respecto al apartado anterior.

- 1) **El sistema de biomasa:** Todos los cambios realizados en la instalación de biomasa se encuentran dentro del presupuesto realizado por la empresa Hargassner. La propuesta realizada únicamente afecta a la parte inicial del circuito de agua caliente, la cual se sustituirá por completo, pero dejando toda la red de tuberías de la vivienda intacta. Se trata por tanto de una obra muy sencilla en el que se reemplaza el cuarto de calderas por completo y únicamente algunos puntos de la red de tuberías que presentan excesiva corrosión. Dentro de este presupuesto se incluyen todos los elementos mostrados en la Ilustración 90 y que se explican a continuación.



Ilustración 90. Caldera de pellets Smart-PK 32, Depósito Domusa DUO 750/100, Silo textil GWT-Max 160x200 y Módulo Básico hidráulico IHM Nano – PK 20-32. (Fuente: Hargassner)

Este apartado incluye la nueva caldera de pellets Hargassner Smart-PK 32, todo lo que tiene que ver con su combustible (aprovisionamiento, silo textil GWT-MAX 160x200, transporte y chimenea), los nuevos depósitos de inercia y de ACS unidos (depósito Domusa DUO 750/100), equipos de impulsión (Módulo básico hidráulico IHM Nano PK 20-32) y todas las tuberías y accesorios necesarios para montar la base de este circuito y sustituir las partes más afectadas del existente. El precio total de estas medidas es de **22.945,97 €**, incluyendo el IVA y todos los gastos de transporte y puesta en marcha de la instalación.

- 2) **Los radiadores:** Dado que, durante la realización del TFG, ya se dimensionó y se cerró un presupuesto para los radiadores, esta solución dentro del circuito de calefacción se ha decidido tratar por separado con el mismo proveedor que dos años atrás (MásCalor). El presupuesto ofrecido, incluyendo todos los radiadores Ferroli del modelo EUROPA C de aluminio (Ilustración 91), su porte y montaje, y todos los accesorios correspondientes (válvulas termostáticas y purgadores automáticos) supone un desembolso de **6.986,85 €**.



Ilustración 91. Radiadores Ferroli EUROPA C. (Fuente: Ferroli)

- 3) **Aeroterminia por conductos.** Al no existir circuito de refrigeración previo en la vivienda, se ha diseñado un circuito de refrigeración por aire acondicionado por conductos en la vivienda. Para minimizar los metros de conducto, se ha decidido poner dos bombas de calor en la primera planta y una sola en la segunda. Los modelos elegidos, mostrados en la Ilustración 92, son de la serie Admira con gas refrigerante R32 y de la marca HTW (dos bombas HTW-D-090ADMR32 de 8,79/9,38 kW en la primera planta y una bomba HTW-D-140ADMR32 de 14,07/16,12 kW). Al ser bombas de calor reversible, estas permiten también calentar la casa en invierno en los meses no tan fríos, de manera que la caldera no tenga que ser encendida en los meses de primavera y otoño. La parte negativa de este escenario es que, al no contar con una preinstalación de conductos, es necesario montar un falso techo que aumenta en gran medida la inversión. El presupuesto total de montaje de todo el sistema de aire acondicionado por parte de la empresa ECOPEL asciende a **35.875,29 €**.



Ilustración 92. Unidades interior y exterior de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)

- 4) **Instalación fotovoltaica.** Dado que en este escenario la biomasa es la fuente de energía en los meses más fríos, la demanda eléctrica anual se disminuye y no será necesaria una instalación tan grande como la de los dos primeros escenarios. La instalación constará de 23 módulos fotovoltaicos EX460-480HJT de 480 W de potencia pico y un inversor R5-8K-S2 con 12 kW de potencia de entrada y 8 kW de salida (Ilustración 93). La inversión fotovoltaica es de **17.199,35 €**.

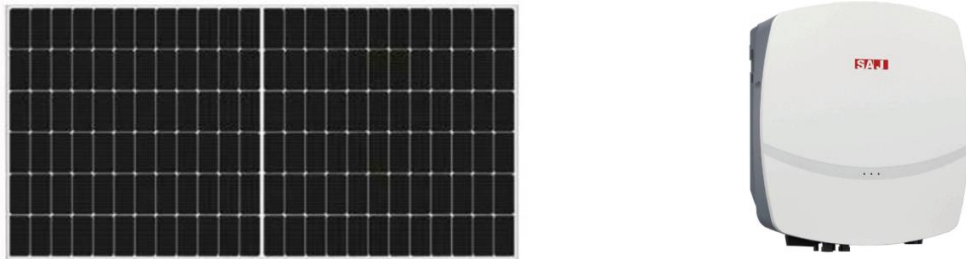


Ilustración 93. Módulos fotovoltaicos Exiom e Inversores fotovoltaicos SAJ. (Fuente: Salvador Escoda)

- 5) **Aislamiento en ventanas.** Consiste en el cambio y sustitución de un total de 13 ventanas y persianas en la vivienda, mediante la introducción de ventanas con perfiles de PVC EuroFutur del fabricante alemán Kömmerling y cristales de vidrio GuardanSun, con tecnología climalit (Ilustración 94). Además, también se introducen persianas RolaPlus de PVC de Kömmerling. Con estas medidas, el aislamiento térmico y acústico de la vivienda pasa a ser óptimo. La empresa encargada de la distribución y el montaje de las mismas es la empresa García Tamayo. El presupuesto real se incluye en el Documento 2 de este trabajo y su precio total, incluyendo IVA y puesta en marcha es de **13.860,67 €**.

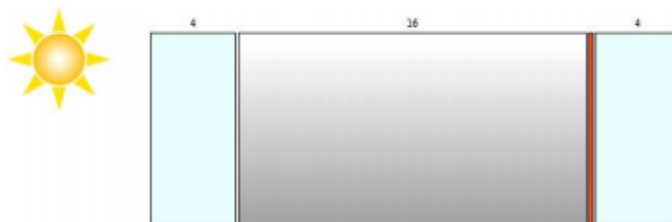


Ilustración 94. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

La información específica, explicaciones, singularidades y desglose de los precios de cada uno de los puntos recién explicados se muestra con detalle en el Documento 2: Presupuesto de este TFM. En la Ilustración 95 se desglosa la inversión a realizar en este escenario en función de los puntos mostradas anteriormente. Anteriormente, en la Tabla 49 se muestran todas las medidas exactas que se han tomado en cada uno de los puntos de actuación. Con todas estas medidas en mente, la inversión total de este escenario será de **96.868,13 €**, que es la más pequeña de los tres escenarios.

Tabla 49. Resumen de los cambios en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

<i>Sistema de Biomasa</i>	Caldera de Pellets Hargassner Smart-PK 32	22.945,97 €
	Aprovisionamiento a Granel	
	Silo textil GWT-Max 160x200, 5 t	
	Chimenea doble pared aislada INOX DP316L/304	
	Depósito Domusa DUO 750/190	
	Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 32	
	Extras: Tuberías y Accesorios	
<i>Radiadores</i>	Radiadores Ferroli Europa C	6.986,85 €
<i>Aerotermia por conductos</i>	2 Bombas de calor HTW-D-090ADMR32 8,79/9,38 kW	35.875,29 €
	Bomba de calor HTW-D-140ADMR32 14,07/16,12 kW	
	Soportes y otros accesorios	
	Metros de conductos	
	Rejillas	
	Extras: Falso techo, mano de obra, etc.	
<i>Instalación FV</i>	23 Módulos fotovoltaico EX460-480HJT de 480 W	17.199,35 €
	2 Inversores SAJ Serie R5 de 5K - S2	
	Extras: Puesta en marcha, cableados, etc.	
<i>Aislado en Ventanas</i>	13 Perfiles de PVC EuroFutur Elegance de Kömmerling	13.860,67 €
	13 Vidrios GuardanSun 4/16/4	
	13 Persianas RolaPlus PVC de Kömmerling	
	Extras: Portes, instalación, etc.	
		96.868,13 €

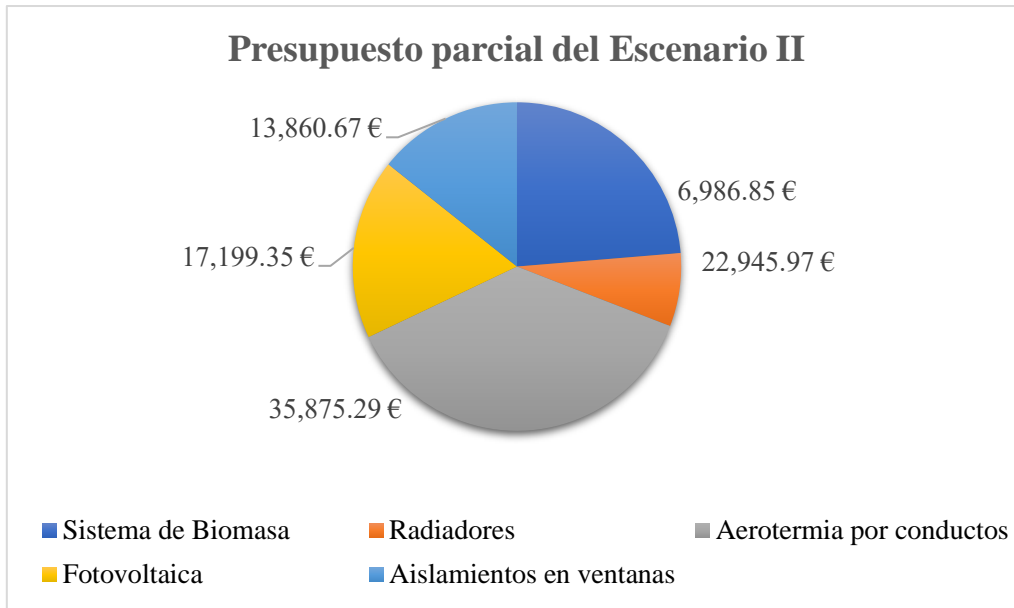


Ilustración 95. Presupuesto parcial del Escenario II (Fuente: Elaboración propia)

5.1.2.2. Análisis energético

5.1.2.2.1. *Cambios en la fuente de energía*

En este escenario, el gas se sustituye por la biomasa, la cual es una energía mucho más limpia, aunque no mucho más eficiente. Además, se introduce refrigeración eléctrica que es compensada con los paneles solares FV. A nivel energético instalado en la vivienda, los cambios producidos vienen dados por la Tabla 50.

Tabla 50. Resumen de los cambios en materia energética del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Fuente de gasto	Instalación actual			Instalación propuesta		
	Modo de trabajo	Potencia pico	Combustible	Sustituto	Consumo pico	Combustible
Calefacción	Caldera de Gas	40 kW	Gas	Caldera de Biomasa	32 kW	Biomasa
Refrigeración	Inexistente (aparatos de ventilación)	0 kW	Electricidad	Bomba de calor aire/aire	9,8 kW	Electricidad
Iluminado, electrodomésticos, etc	Bombillas, lavadoras, etc.	5 kW punta y valle	Electricidad	Sin cambios	10 kW punta y 5 kW valle	Electricidad

5.1.2.2.2. Ahorro en calefacción

De manera paralela al primer escenario, en este escenario también se ha redimensionado la instalación teniendo en cuenta los aislamientos y también se ha aumentado el rendimiento del circuito fruto de su modernización. No obstante, en este caso, la utilización de biomasa no es tan diferente en términos de rendimiento al gas. La Ilustración 96 (proveniente de la Tabla 18) muestra las diferencias de consumo (medido en kWh) que habría en la instalación de calefacción, suponiendo que la utilización fuera la misma que la actual (4 personas con las mismas costumbres). Aunque el consumo actual es de gas, y el nuevo es de biomasa, cuyos precios son diferentes, sí que se produce un ahorro en términos energéticos. Mientras que el consumo actual anual es de exactamente **61.341 kWh**, el consumo propuesto por la nueva instalación sería **40.679 kWh**, es decir, se produciría un ahorro energético del **34%**.

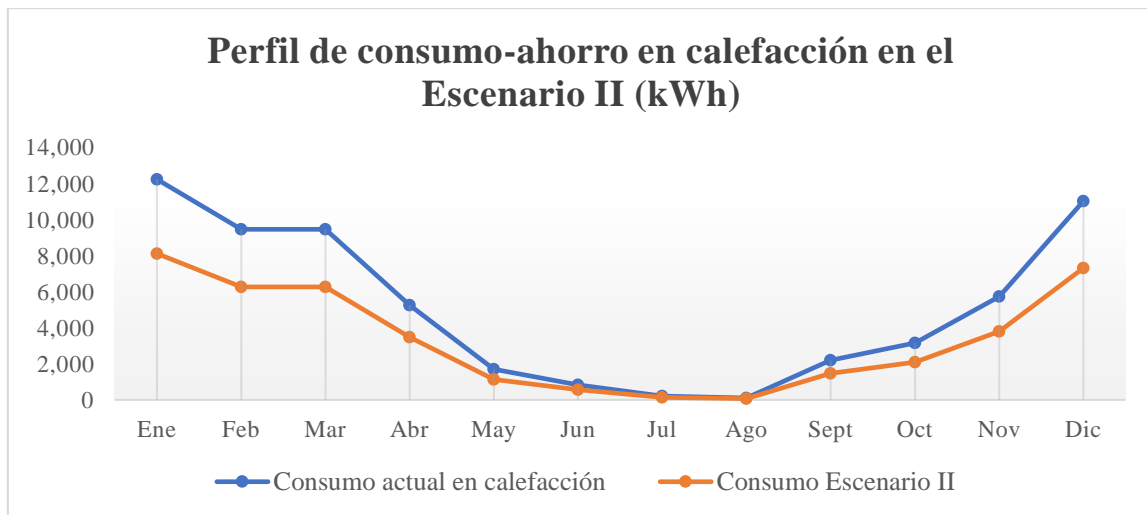


Ilustración 96. Ahorro en calefacción del Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.1.2.2.3. Previsiones energéticas reales

Tal y como pasaba en el anterior escenario, el ahorro energético explicado en el apartado anterior no es un ahorro real, dado que lo que se espera es que la utilización de la vivienda en el futuro será todavía mayor. De nuevo, para sacar los perfiles reales, teniendo en cuenta una mayor utilización de la vivienda, se ha seguido el procedimiento explicado en el apartado 3.4.1.1. Lo que cambia en este escenario con respecto al anterior es que no todo el gasto energético será un gasto eléctrico. En este caso, el consumo de calefacción es un consumo biomasa, mientras que los consumos en la parte de refrigeración y la parte de iluminación, electrodomésticos, etc. son eléctricos. En la Ilustración 97 se muestra el consumo de cada combustible por separado y también de manera unificada, aunque este último no sirve para sacar conclusiones.

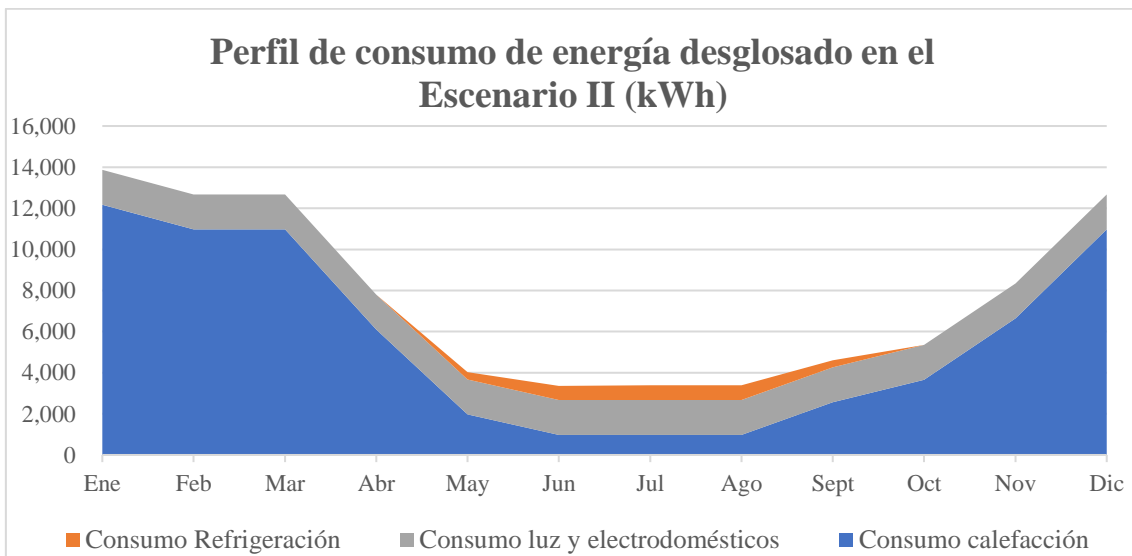
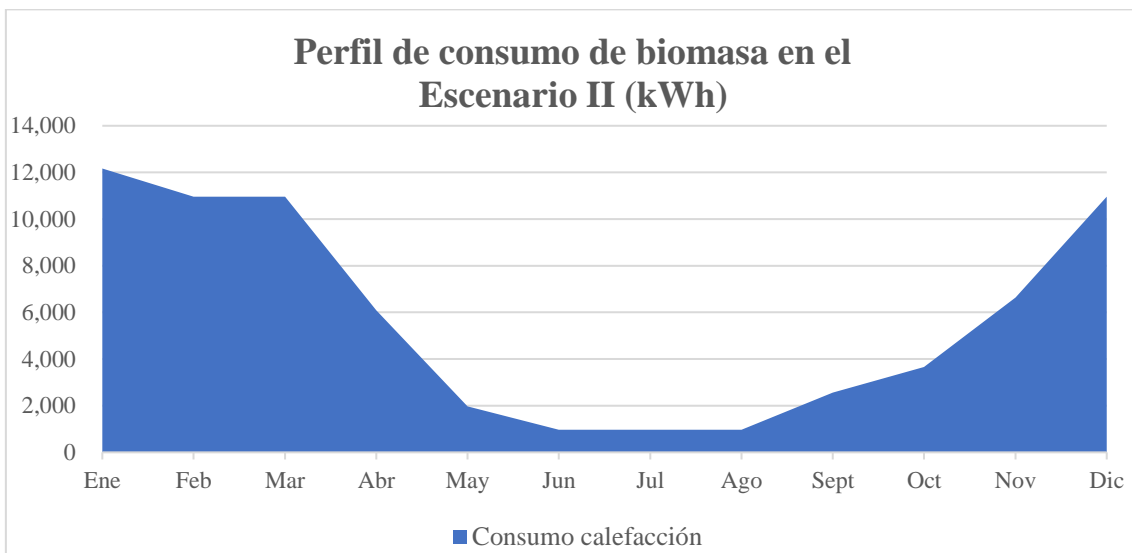
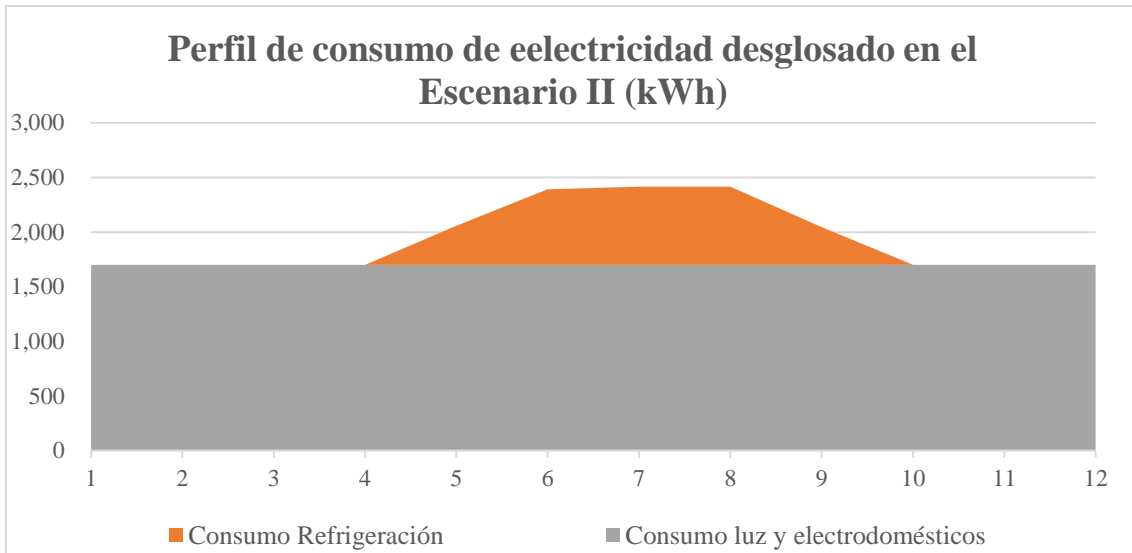


Ilustración 97. Perfil de consumo de electricidad, de biomasa y conjunto en el Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

El primero de los perfiles, el perfil de consumo eléctrico ha sido la base para el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica de la vivienda, la cual está compuesta por 23 módulos con una superficie de 50,05 m². Dicha instalación de paneles solares fotovoltaicas, que ha sido dimensionada para minimizar el gasto eléctrico a lo largo del año, muestra las características energéticas mostradas en la Tabla 51.

Tabla 51. Datos energéticos del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Potencia pico	11,04 kW	
Consumo total (Ilustración 97)	23.227,92 kWh	Ilustración 98
Producción total	20.786,11 kWh	
Exceso de producción	2.808,15 kWh	Ilustración 99
Demanda no satisfecha	5.248,96 kWh	

Tal y como se aprecia en la Ilustración 98, en este escenario en el que la calefacción no es eléctrica, la producción y la demanda van mucho más de la mano, dado que los meses en los que más se demanda, que son los de verano, también son en los que más se produce. De este modo, se consigue que no haya demasiados excedentes, ni demasiado consumo de la red (hay parte que es inevitable porque se da de noche). Los excedentes y el consumo se muestran en la Ilustración 99.

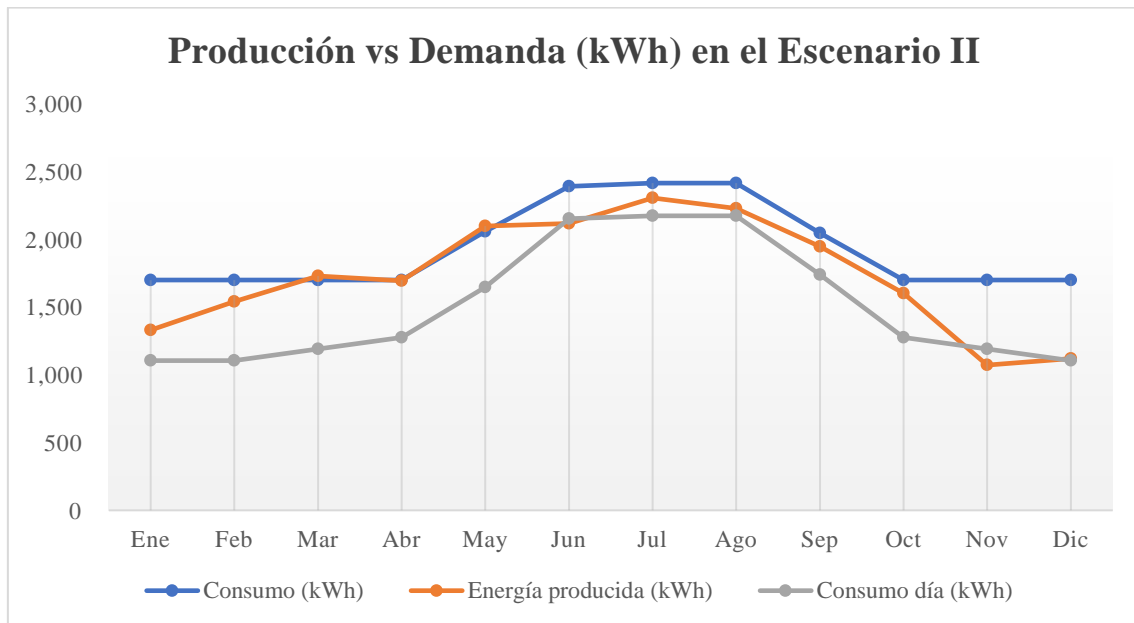


Ilustración 98. Producción vs demanda total de electricidad en el Escenario II (kWh).
(Fuente: Elaboración propia)

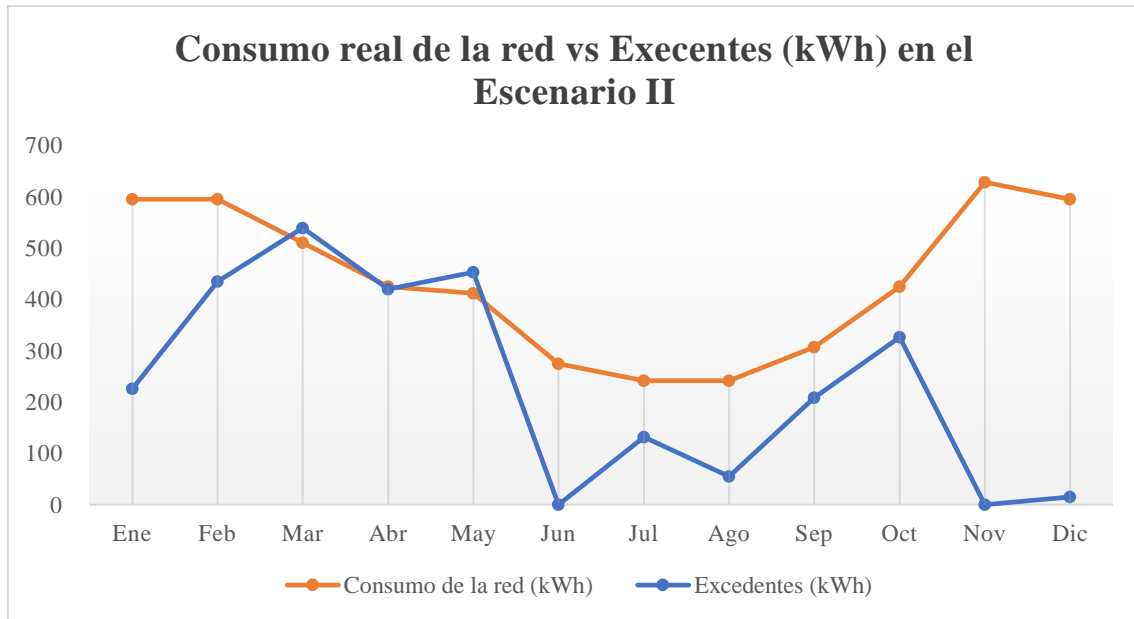


Ilustración 99. Consumo de la red vs excedentes de electricidad en el Escenario II (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.1.2.3. Análisis financiero

5.1.2.3.1. *Gastos globales*

- **Inversión:** Es el desembolso inicial a realizar en el año 0 por la compra de los materiales, construcción y puesta en marcha de toda la instalación. La cuantía total asciende a **96.868,13 €**, tal y como se muestra en la Tabla 49.
- **Gasto energético:** En este escenario, se producirán dos gastos energéticos diferentes, por un lado, el de la biomasa y, por el otro, el de la tarifa eléctrica.
 - **Gasto en Biomasa:** El consumo de calefacción esperado para este capítulo ya se calculó en el apartado 3.4.1.1 y era de exactamente **68.917 kWh** (Tabla 18). En cuanto a los precios del Pellet, ha habido fluctuaciones grandes en el último año. Según el último informe de AVEBIOM (Asociación Española de la Biomasa, 2023), el precio del Pellet en cambio cisterna había estado entorno a los 0,05 €/kWh desde 2013 hasta 2021. No obstante, en 2022, tuvo una subida de prácticamente un 70%. En 2023 el precio ha vuelto a bajar y se sitúa en 0,0778 €/kWh que se espera que siga bajando. A efectos de este trabajo se supondrá que el coste alcanzará valores estables de **0,070 €/kWh**. De este modo, el gasto anual en biomasa, que irá subiendo conforme al IPC, será de:

$$68.917 \text{ kWh} \cdot 0,07 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 4.824,19\text{€}$$

- **Tarifa eléctrica:** Es el pago mensual de la electricidad que se dará cada año a lo largo de los 25 años de vida útil. Se espera que vaya aumentando anualmente conforme a la inflación y a la tasa de descuento. En la Ecuación 8 se mostraba la forma de calcularla, para lo cual se debía tener en cuenta la potencia contratada del escenario (10 kW en punta y 5 kW en valle), así como las cuantías mensuales del consumo de la red y los excedentes (Ilustración 99). El cálculo de la tarifa eléctrica del primer año se muestra en la Tabla 52.

Tabla 52. Cálculo del término de la tarifa eléctrica en el año 1 para el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Consumo total (kWh)	Consumo de día (kWh)	Energía producida (kWh)	Consumo de la red (kWh)	Excedentes (kWh)	Gasto en electricidad
Ene	1.700	1.105	1.331	595	226	133,48 €
Feb	1.700	1.105	1.540	595	435	117,05 €
Mar	1.700	1.190	1.729	510	539	97,36 €
Abr	1.700	1.275	1.694	425	419	87,70 €
May	2.058	1.646	2.099	412	453	84,08 €
Jun	2.392	2.153	2.118	274	0	85,64 €
Jul	2.415	2.174	2.306	242	132	72,03 €
Ago	2.415	2.174	2.229	242	55	76,92 €
Sep	2.046	1.739	1.947	307	208	78,61 €
Oct	1.700	1.275	1.601	425	326	94,67 €
Nov	1.700	1.190	1.072	628	0	153,10 €
Dic	1.700	1.105	1.120	595	15	146,91 €
Totales	23.227	18.131	20.786	5.249	2.808	1.227,55 €

- **Gastos de Mantenimiento:** Según la empresa Ecopel, el mantenimiento de la instalación solar era de 90 € anuales. Dado que también hay que mantener la instalación de refrigeración de aerotermia y el circuito de biomasa, se va a suponer un gasto total de mantenimiento de **250 €** anuales para todas las medidas tomadas, que serán corregidos cada año por la inflación.
- **Gastos de Asegurado de la instalación:** Según la empresa Ecopel, el mantenimiento de la instalación solar era de 90 € anuales. Se supondrá que asegurar la instalación de refrigeración y la de biomasa sumará 100 € en total, teniendo un gasto total de **190 €**.
- **Reemplazos:** Dado que la vida útil de los inversores es aproximadamente de unos 10 años, habrá que asumir una inversión extra en concepto de inversores (1.500 €) ajustada por la inflación en el año 12 (justo en el ecuador de la vida útil).

Además, en la parte de fotovoltaica se asumían 1.000 € extra en concepto de cableados que pudieran estar averiados. Utilizando una hipótesis parecida, es normal que haya tuberías, válvulas, conexiones y bombas hidráulicas que también tendrán que ser reemplazados en dicho momento. Se asumirá que esto supondrá otros 1.000 € extra.

$$1.500 \cdot (1 + 21\%) \cdot (1 + 2\%)^{12} + 2.000 = \mathbf{4301,86 \text{ €}}$$

5.1.2.3.2. *Ingresos globales*

- **Subvenciones:** De nuevo, según la empresa instaladora Ecopel, la cuantía subvencionable por la parte de fotovoltaica es de exactamente 5.175 €. Además, también son subvencionables 3.000 € en concepto de aerotermia y 2.500 € por la biomasa. Todo ello suma un monto subvencionable de **10.675,00 €**.
- **Tarifa eléctrica:** Igual que supondrá un gasto a futuro, el “ingreso” más importante será el ahorro que se produciría en la factura por el hecho de instalar los paneles solares. Dado que en la parte de costes se han puesto los nuevos costes reales que se tendrán en la tarifa, para la parte de ingresos hay que poner exactamente los costes actuales de electricidad que se pagarían en la vivienda si no hubiese habido ni paneles solares fotovoltaicos, ni la nueva forma de climatización. De este modo, realmente se trata del mismo consumo actual, pero corregido teniendo en cuenta el extra de utilización en la vivienda. El cálculo del consumo eléctrico corregido por utilización se llevó a cabo en el apartado 3.4.1.1 y era de exactamente **23.618 kWh** anuales.

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 23.618 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = \mathbf{4.716,43 \text{ €}}$$

- **Gas:** De nuevo, se trata de exactamente el gasto actual en gas, pero corregido por la utilización. Dicho consumo, calculado también en el apartado 3.4.1.1 resultaba ser de exactamente **103.921 kWh** anuales, tras aplicarle un factor de 1,7 al consumo actual que es de alrededor de 61.341 kWh. El precio del gas que se supondrá para el primer año y que irá subiendo conforme al IPC será exactamente igual que el gasto medio de las facturas que se obtuvo en los años 2021 y 2022 que se mostraban en la Tabla 1. En dicha tabla, el importe total pagado entre julio de 2021 y julio de 2022 ascendía a 4.539,37, mientras que el consumo total había sido de 61.341 kWh, tal y como se acaba de comentar. Dichos datos hacen que el precio del gas sea de exactamente **0,074 €/kWh**. Este precio, que incluye la parte fija y el tope del gas curiosamente, coincide exactamente con el valor del gas en el Mercado libre en julio de 2023 según Selectra.

$$103.921 \text{ kWh} \cdot 0,074 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{7.690,15 \text{ €}}$$

5.1.2.3.3. DCF

Tabla 53. DCF del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
+	Subvención	10.675,00 €									
	Ahorro en gas		7.690,15 €	7.843,95 €	8.000,83 €	8.160,85 €	8.324,07 €	8.490,55 €	8.660,36 €	8.833,57 €	9.010,24 €
	Ahorro en tarifa		4.716,43 €	4.810,76 €	4.906,97 €	5.005,11 €	5.105,22 €	5.207,32 €	5.311,47 €	5.417,70 €	5.526,05 €
-	Inversión	96.868,13 €									
	Coste de la electricidad		1.227,55 €	1.252,10 €	1.277,14 €	1.302,69 €	1.328,74 €	1.355,31 €	1.382,42 €	1.410,07 €	1.438,27 €
	Coste de la biomasa		4.824,19 €	4.920,67 €	5.019,09 €	5.119,47 €	5.221,86 €	5.326,30 €	5.432,82 €	5.541,48 €	5.652,31 €
	Mantenimiento		250,00 €	255,00 €	260,10 €	265,30 €	270,61 €	276,02 €	281,54 €	287,17 €	292,91 €
	Asegurado		190,00 €	193,80 €	197,68 €	201,63 €	205,66 €	209,78 €	213,97 €	218,25 €	222,62 €
	Reemplazos										
=	FCF	-86.193,13 €	5.914,84 €	6.033,14 €	6.153,80 €	6.276,88 €	6.402,41 €	6.530,46 €	6.661,07 €	6.794,29 €	6.930,18 €
	FCF acumulado	-86.193,13 €	-80.278,29 €	-74.245,15 €	-68.091,35 €	-61.814,48 €	-55.412,07 €	-48.881,60 €	-42.220,53 €	-35.426,24 €	-28.496,06 €
	DCF	-86.193,13 €	5.633,18 €	5.472,23 €	5.315,88 €	5.164,00 €	5.016,46 €	4.873,13 €	4.733,90 €	4.598,64 €	4.467,25 €
	VAN	-86.193,13 €	-80.559,95 €	-75.087,72 €	-69.771,83 €	-64.607,83 €	-59.591,37 €	-54.718,24 €	-49.984,34 €	-45.385,70 €	-40.918,45 €

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

		<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
+	Subvención										
	Ahorro en gas	9.190,44 €	9.374,25 €	9.561,73 €	9.752,97 €	9.948,03 €	10.146,99 €	10.349,93 €	10.556,93 €	10.768,07 €	10.983,43 €
	Ahorro en tarifa	5.636,57 €	5.749,30 €	5.864,29 €	5.981,57 €	6.101,21 €	6.223,23 €	6.347,69 €	6.474,65 €	6.604,14 €	6.736,22 €
-	Inversión										
	Coste de la electricidad	1.467,04 €	1.496,38 €	1.526,30 €	1.556,83 €	1.587,97 €	1.619,73 €	1.652,12 €	1.685,16 €	1.718,87 €	1.753,24 €
	Coste de la biomasa	5.765,35 €	5.880,66 €	5.998,27 €	6.118,24 €	6.240,60 €	6.365,42 €	6.492,72 €	6.622,58 €	6.755,03 €	6.890,13 €
	Mantenimiento	298,77 €	304,75 €	310,84 €	317,06 €	323,40 €	329,87 €	336,47 €	343,20 €	350,06 €	357,06 €
	Asegurado	227,07 €	231,61 €	236,24 €	240,97 €	245,79 €	250,70 €	255,71 €	260,83 €	266,05 €	271,37 €
	Reemplazos			4.301,86 €							
=	FCF	7.068,78 €	7.210,16 €	3.052,50 €	7.501,45 €	7.651,48 €	7.804,51 €	7.960,60 €	8.119,81 €	8.282,20 €	8.447,85 €
	FCF acumulado	-21.427,28 €	-14.217,13 €	-11.164,63 €	-3.663,18 €	3.988,30 €	11.792,80 €	19.753,40 €	27.873,21 €	36.155,41 €	44.603,26 €
	DCF	4.339,62 €	4.215,63 €	1.699,75 €	3.978,18 €	3.864,52 €	3.754,10 €	3.646,84 €	3.542,65 €	3.441,43 €	3.343,10 €
	VAN	-36.578,83 €	-32.363,20 €	-30.663,45 €	-26.685,27 €	-22.820,76 €	-19.066,66 €	-15.419,82 €	-11.877,17 €	-8.435,74 €	-5.092,64 €

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

		<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>
+	Subvención						
	Ahorro en gas	11.203,10 €	11.427,16 €	11.655,70 €	11.888,82 €	12.126,59 €	12.369,12 €
	Ahorro en tarifa	6.870,95 €	7.008,37 €	7.148,53 €	7.291,50 €	7.437,33 €	7.586,08 €
-	Inversión						
	Coste de la electricidad	1.788,31 €	1.824,07 €	1.860,56 €	1.897,77 €	1.935,72 €	1.974,44 €
	Coste de la biomasa	7.027,93 €	7.168,49 €	7.311,86 €	7.458,10 €	7.607,26 €	7.759,41 €
	Mantenimiento	364,20 €	371,49 €	378,92 €	386,49 €	394,22 €	402,11 €
	Asegurado	276,79 €	282,33 €	287,98 €	293,74 €	299,61 €	305,60 €
	Reemplazos						
=	FCF	8.616,80 €	8.789,14 €	8.964,92 €	9.144,22 €	9.327,11 €	9.513,65 €
	FCF acumulado	53.220,06 €	62.009,21 €	70.974,13 €	80.118,35 €	89.445,46 €	98.959,11 €
	DCF	3.247,58 €	3.154,80 €	3.064,66 €	2.977,10 €	2.892,04 €	2.809,41 €
	VAN	-1.845,06 €	1.309,73 €	4.374,39 €	7.351,49 €	10.243,52 €	13.052,93 €

Inversión	96.868,13 €
VAN	13.052,93 €
VAN/Inversión	0,13
TIR	6,3%
Payback	13,48

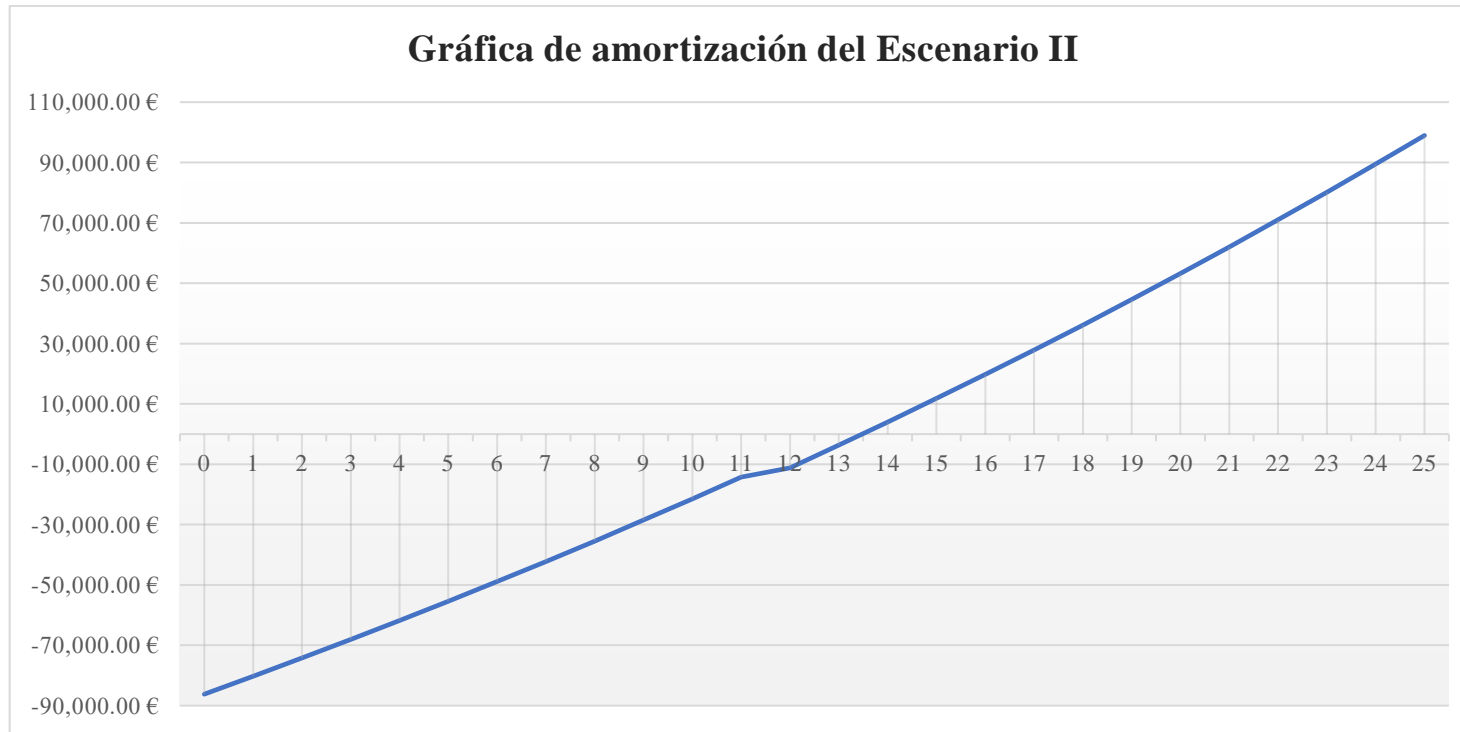


Ilustración 100. Gráfica de amortización del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.2.3.4. Análisis marginal

➤ *Coste normalizado de la aeroterminia*

Utilizando la Ecuación 11 explicada en el primer escenario como base, el coste normalizado total se muestra en la Tabla 54 y se explica a continuación.

Tabla 54. Coste normalizado del Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

CAPEX	OPEX		Coste normalizado de la Aeroterminia con Biomasa
	Combustible	Mantenimiento	
38,21 €/MWh	58,04 €/MWh	2,65 €/MWh	98,90 €/MWh
38,63%	58,69%	2,68%	100%

- **CAPEX:**

- **Inversión:** La inversión a realizar en el apartado aerotérmico, es decir, los tres primeros puntos de la Tabla 49, que suman un desembolso de **65.808,11 €**, de los cuales 35.875,29 € pertenecen a la parte de refrigeración y 29.932,82 € pertenece a la parte de calefacción. No obstante, dado que en los otros escenarios no es posible desagregar ambas partes, se tomará como una única inversión y una única producción.
- **Producción:** Hace referencia a la producción calefacción y refrigeración anual. La producción de calefacción a la que tiene que hacer frente es de 103.921 kWh y la de refrigeración es de 18.375 kWh (véase apartado 3.4.1.1), sumando un total de 122.296 MWh

$$CAPEX = \frac{65.808,11 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 0,071 = 38,21 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

- **OPEX:**

- **Coste de combustible:** En este caso el coste de combustible hay que dividirlo en dos partes. Por un lado, está el coste anual de biomasa, que es de **4.824,19 €**, tal y como se ha calculado previamente. Por el otro lado, está el coste eléctrico de refrigeración Si no hubiese paneles solares fotovoltaicos, el consumo de electricidad en la vivienda sería el correspondiente a los 23.227 kWh que se consumen en el Escenario II. No obstante, solo serían atribuibles a aeroterminia el consumo en refrigeración, quitando la parte de la luz. Esto hace que el consumo sea de 2.827 kWh (Tabla 18). De este modo, según la Ecuación 6, el precio pagado por la tarifa eléctrica con ese consumo sería de:

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 10\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 2.827 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = \mathbf{879,28 \text{ €}}$$

De este modo, el coste normalizado del combustible, teniendo en cuenta la misma producción de **122.296 kWh** es:

$$C_{F,\Sigma} = \frac{4.824,19 \text{ €} + 879,28 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 17,528 \cdot 0,071 = \mathbf{58,04 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}}$$

- **Mantenimiento y asegurado:** La parte de mantenimiento y asegurado correspondiente a la instalación aerotérmica es únicamente de **160 €** en concepto de mantenimiento y **100 €** en concepto de asegurado.

$$C_{M,\Sigma} = \frac{260,00 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 17,528 \cdot 0,071 = \mathbf{2,65 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}}$$

➤ *DCF de la instalación solar fotovoltaica para Biomasa con Aerotermia*

Dando por hecho que la instalación de biomasa con aerotermia ya existiese previamente en la vivienda, entonces, el DCF que se explicó y realizó en el apartado 4.2.4.1.3 con el fin de optimizar la instalación fotovoltaica, cobraría sentido. Es decir, los resultados que se obtuvieron y que se resumen de nuevo a continuación son útiles en el caso en el que se quiera estudiar la rentabilidad de la inversión por separado. Los resultados más importantes de aquel dimensionamiento se muestran en la Tabla 55 y en la Ilustración 101..

Tabla 55. KPIs financieros del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV.
(Fuente: Elaboración propia)

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	23,00
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 8K - S2
	<i>Número</i>	1
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	17.199,35 €
	<i>VAN</i>	45.049,72 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,62
	<i>TIR</i>	30,1%
	<i>Payback</i>	3,42

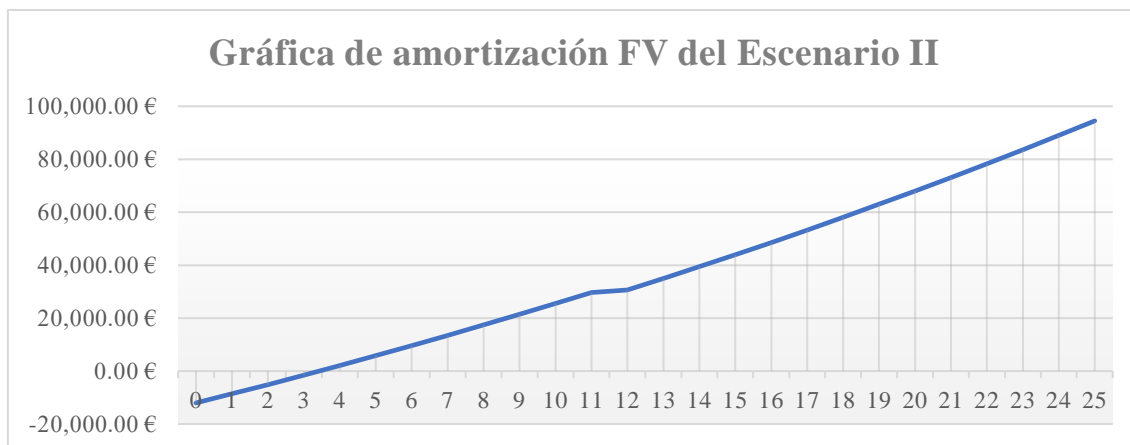


Ilustración 101. Gráfica de amortización del Escenario II del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.3. ANÁLISIS DEL ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA

5.1.3.1. Resumen de las medidas propuestas

De manera análoga a lo realizado en el primer escenario, esta última opción consiste en una solución integral de climatización mediante geotermia vertical que una en un mismo circuito de agua tanto la calefacción, como el ACS y la refrigeración. En este caso, se ha decidido que, por cuestiones económicas y de inversión, la única combinación viable del escenario de geotermia era el hecho de combinarla con los mismos radiadores de baja temperatura que fueron diseñados durante el TFG y que también se utilizan en el Escenario II. Además, de ello se han introducido algunas medidas individuales para el sistema de ACS que no estaban cubiertas por el presupuesto base.

Tal y como pasaba en los demás escenarios, para el dimensionamiento de la instalación, se ha tenido en cuenta la introducción de aislamientos adecuados en la vivienda mediante el cambio de las ventanas y, además, se ha diseñado una instalación fotovoltaica acorde con el gasto eléctrico del escenario. Las medidas tomadas en este escenario se resumen e ilustran a continuación. Lo puntos cuarto y quinto, salvo por pequeñas modificaciones, se repiten con respecto al apartado anterior.

- 1) **El sistema de geotermia:** La empresa GeoIntegral ha realizado un presupuesto por un total de **57.514,52 €** que cubre toda la parte de la instalación geotérmica, más algunos equipos específicos del sistema de calefacción muy relacionados con la bomba de calor, que es la Claussius Classic con capacidad de 25 kW para calefacción y 30 kW para la parte de refrigeración (Ilustración 102). Se trata de un sistema de geotermia vertical con sondas con cuatro perforaciones de 120 metros de donde se captará la energía que la bomba convertirá en frío o en calor. De este modo, la solución ofrecida por GeoIntegral incluye la bomba de calor, el depósito de inercia IDROGAS AR-A100, una bomba de impulsión para el circuito de calefacción/refrigeración, tubos, sondas, equipos electrógenos, así como los estudios geológicos, permisos necesarios, gestión de las subvenciones, etc.



Ilustración 102. Bomba de calor geotérmica Claussius Classic y Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: GeoIntegral)

- 2) **Radiadores.** Tal y como se adelantaba en la introducción, la diferencia principal con el primero de los escenarios es que los elementos terminales de la instalación serán radiadores de baja temperatura en vez del suelo radiante. Esto es así por cuestiones económicas principalmente. La instalación geotérmica ya es suficientemente cara de por sí, por lo que no es viable realizar una inversión de ~50.000 € en suelo radiante. De esta manera, para la elección y dimensionamiento de los radiadores de baja temperatura en cuestión se ha acudido directamente al mismo proveedor del TFG y del Escenario II que se vuelven a mostrar en la Ilustración 103. El precio total vuelve a ser de **6.986,85 €**.



Ilustración 103. Radiadores Ferrolí EUROPA C. (Fuente: Ferrolí)

- 3) **Circuito de ACS.** Tal y como pasaba en el primero de los escenarios, el sistema de ACS no estaba cubierto dentro del sistema geotérmico. De esta manera, esta parte se ha realizado de manera individual atendiendo a las necesidades específicas del sistema de ACS. Las decisiones han sido las de incorporar un nuevo interacumulador Baxi de 300 L exactamente igual al existente pero mucho más moderno y la misma bomba de circulación de ACS que se diseñó durante el TFG y que también se utiliza en el Escenario I, la bomba Grundfos CME 1-2 A. Con estas dos medidas mostradas en la Ilustración 104 y algunos cambios puntuales en el circuito, se espera que se arreglen los problemas de presión existentes. El precio conjunto de los equipos es de **4.099,48 €**.



Ilustración 104. Interacumulador ACS Baxi 300 L y bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Baxi y Grundfos)

- 4) **Instalación fotovoltaica.** Tal y como pasaba en el primer escenario, el consumo en calefacción también es eléctrico. No obstante, dado que los rendimientos de la geotermia son incluso más grandes que los de la aerotermia, el tamaño de esta instalación se encuentra entre medias de los otros dos escenarios. La instalación constará de 26 módulos fotovoltaicos EX460-480HJT de 480 W de potencia pico y dos inversores R5-5K-S2 con 15 kW de potencia de entrada y 10 kW de salida (Ilustración 105). La inversión fotovoltaica es de **19.647,18 €**.

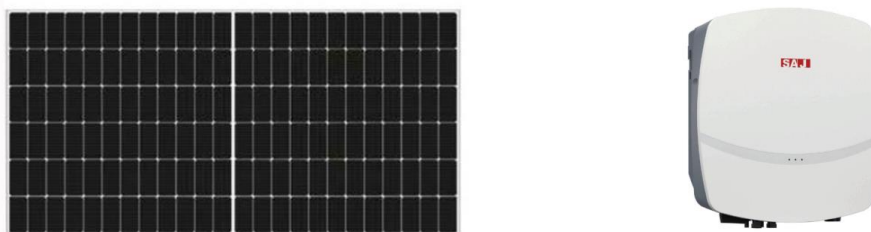


Ilustración 105. Módulos fotovoltaicos Exiom e Inversores fotovoltaicos SAJ. (Fuente: Salvador Escoda)

- 5) **Aislamientos en ventanas.** Consiste en el cambio y sustitución de un total de 13 ventanas y persianas en la vivienda, mediante la introducción de ventanas con perfiles de PVC EuroFutur del fabricante alemán Kömmerling y cristales de vidrio GuardanSun, con tecnología climalit (Ilustración 106). Además, también se introducen persianas RolaPlus de PVC de Kömmerling. Con estas medidas, el aislamiento térmico y acústico de la vivienda pasa a ser óptimo. La empresa encargada de la distribución y el montaje de las mismas es la empresa García Tamayo. El presupuesto real se incluye en el Documento 2 de este trabajo y su precio total, incluyendo IVA y puesta en marcha es de **13.860,67 €**.

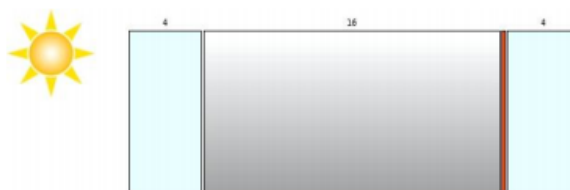


Ilustración 106. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)

La información específica, explicaciones, singularidades y desglose de los precios de cada uno de los puntos recién explicados se muestra con detalle en el Documento 2: Presupuesto de este TFM. En la Ilustración 107 se desglosa la inversión a realizar en este escenario en función de los puntos mostradas anteriormente. Anteriormente, en la Tabla 56 se muestran todas las medidas exactas que se han tomado en cada uno de los puntos de actuación. Con todas estas medidas en mente, la inversión total de este escenario será de **102.108,70 €**, que es la más grande de los tres escenarios.

Tabla 56. Resumen de los cambios en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

<i>Sistema de Geotermia</i>	Bomba geotérmica Claussius Classic HC 5-25 DS	57.514,52 €
	Geotermia vertical de 120 m con 4 perforaciones	
	Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100	
	Bomba circuladora de alta eficiencia DAB	
	Legalización y estudios previos	
	Alquiler y transporte de equipos	
	Extras: Mano de obra	
<i>Radiadores</i>	Radiadores Ferroli Europa C	6.986,85 €
<i>Circuito de ACS</i>	Bomba Grundfos CME 1-2 A	4.099,48 €
	Interacumulador ACS 300 L	
<i>Instalación FV</i>	26 Módulos fotovoltaico EX460-480HJT de 480 W	19.647,18 €
	2 Inversores SAJ Serie R5 de 5K - S2	
	Extras: Puesta en marcha, cableados, etc.	
<i>Aislado en Ventanas</i>	13 Perfiles de PVC EuroFutur Elegance de Kömmerling	13.860,67 €
	13 Vidrios GuardanSun 4/16/4	
	13 Persianas RolaPlus PVC de Kömmerling	
	Extras: Portes, instalación, etc.	
		102.108,70 €

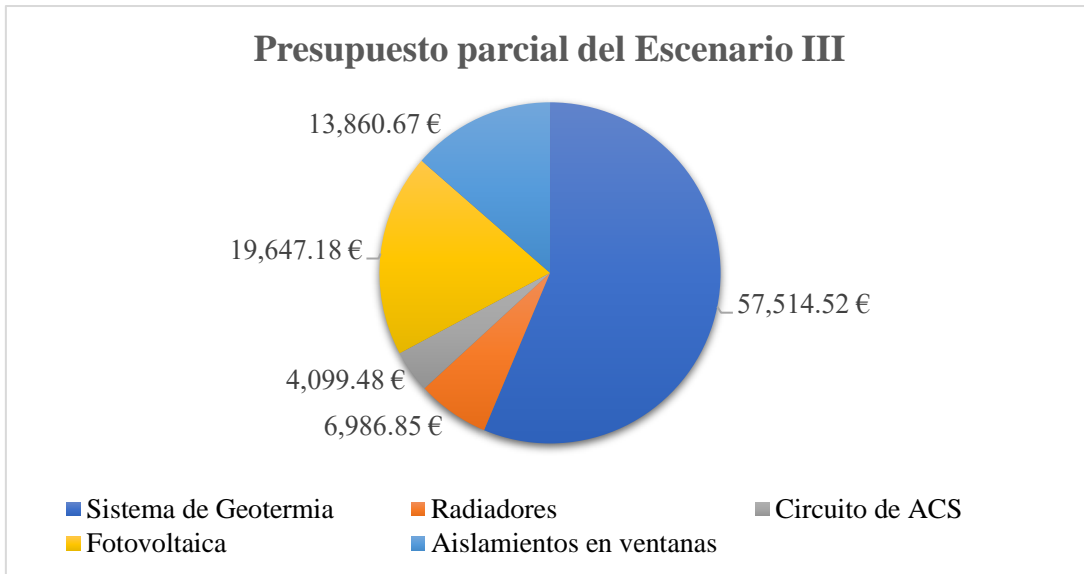


Ilustración 107. Presupuesto parcial del Escenario III (Fuente: Elaboración propia)

5.1.3.2. Análisis energético

5.1.3.2.1. *Cambios en la fuente de energía*

Al igual que pasaba en el primero de los escenarios, el resultado de este escenario es la eliminación por completo del gas, para sustituirlo por la electricidad. Básicamente, a nivel energético instalado en la vivienda, los cambios producidos vienen dados por la Tabla 57. Como se puede ver, el mayor cambio es que aparte de haber introducido una instalación de refrigeración, la potencia necesaria para abastecer a toda la red de calefacción se reduce enormemente. Es decir, aunque la instalación de calefacción actual requiere de 32 kW de energía para calentar adecuadamente la instalación (antes de la instalación de aislamientos se requerían 36 kW), con la instalación de la bomba de calor aerotérmica, únicamente son necesarios 5 kW de potencia eléctrica para poder entregarla.

Tabla 57. Resumen de los cambios en materia energética del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Fuente de gasto	Instalación actual			Instalación propuesta		
	Modo de trabajo	Potencia pico	Combustible	Sustituto	Consumo pico	Combustible
Calefacción	Caldera de Gas	40 kW	Gas	Bomba de calor geotérmica	5 kW	Electricidad
Refrigeración	Inexistente (aparatos de ventilación)	0 kW	Electricidad	Bomba de calor geotérmica	5 kW	Electricidad
Iluminado, electrodomésticos, etc	Bombillas, lavadoras, etc.	5 kW punta y valle	Electricidad	Sin cambios	15 kW punta y 10 kW valle	Electricidad

5.1.3.2.2. Ahorro en calefacción

De manera paralela al primer a los demás escenarios, en este escenario también se ha redimensionado la instalación teniendo en cuenta los aislamientos y también se ha aumentado el rendimiento del circuito fruto de su modernización. . La Ilustración 108 (proveniente de la Tabla 19) muestra las diferencias de consumo (medido en kWh) que habría en la instalación de calefacción, suponiendo que la utilización fuera la misma que la actual (4 personas con las mismas costumbres). Aunque el consumo actual es de gas, y el nuevo es de electricidad (más cara que el gas), en términos energéticos la diferencia es abismal y más en este escenario, donde los rendimientos geotérmicos son altísimos (SCOP de 5,01) . Mientras que el consumo actual anual es de exactamente **61.341 kWh**, el consumo propuesto por la nueva instalación sería de únicamente **7.601 kWh**, es decir, se produciría un ahorro energético del **88%**.

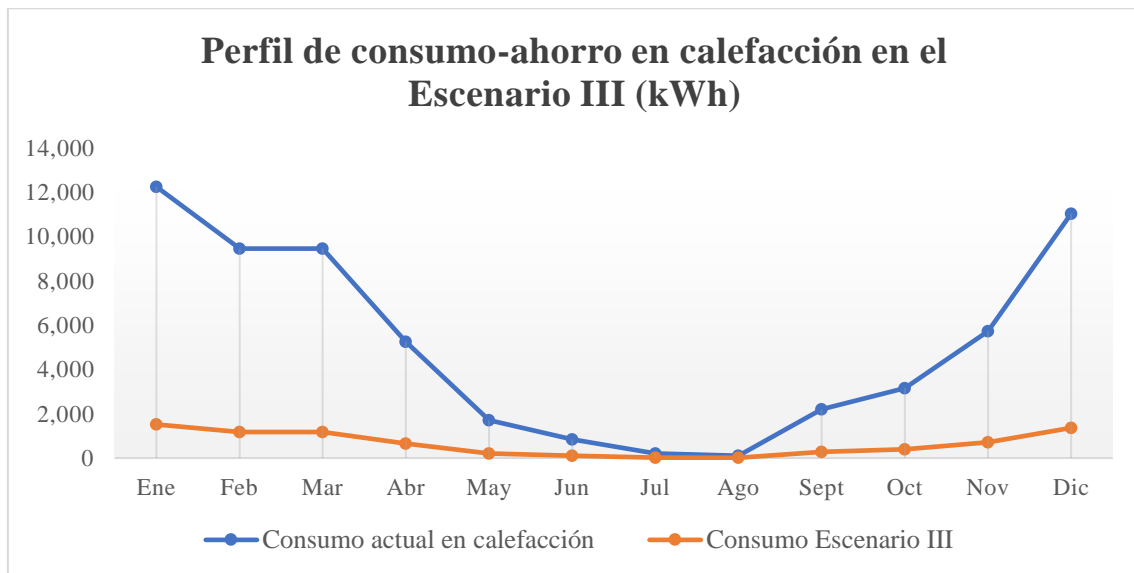


Ilustración 108. Ahorro en calefacción del Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.1.3.2.3. Previsiones energéticas reales

Al igual que en el resto de los escenarios, el ahorro energético explicado en el apartado anterior no es un ahorro real, dado que lo que se espera es que la utilización de la vivienda en el futuro será todavía mayor. De nuevo, para sacar los perfiles reales, teniendo en cuenta una mayor utilización de la vivienda, se ha seguido el procedimiento explicado en el apartado 3.4.1.1. En este caso, al gasto en calefacción, el cual es puramente eléctrico, hay que sumarle la parte de refrigeración y la parte de iluminación, electrodomésticos, etc. En la Ilustración 109 se muestran los datos de consumo.

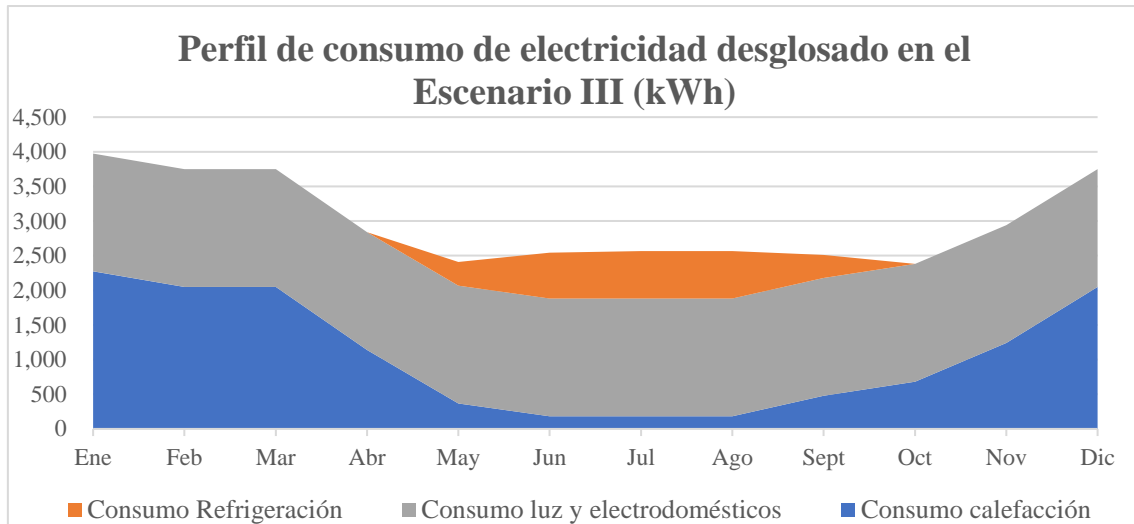


Ilustración 109. Perfil de consumo de electricidad en el Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

Dicho perfil de consumo total ha sido la base para el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica de la vivienda, la cual está compuesta por 26 módulos con una superficie de 56,58 m². Dicha instalación de paneles solares fotovoltaicas, que ha sido dimensionada para minimizar el gasto eléctrico a lo largo del año, muestra las características energéticas mostradas en la Tabla 58.

Tabla 58. Datos energéticos del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Potencia pico	12,48 kW	
Consumo total (Ilustración 109)	35.980,27 kWh	Ilustración 110
Producción total	23.497,34 kWh	
Exceso de producción	1.274,41 kWh	Ilustración 111
Demanda no satisfecha	13.757,34 kWh	

En cuanto al análisis de la producción y la demanda, no difiere en nada con respecto a lo comentado para el Escenario I, pues las demandas en este caso, aunque son menores fruto de unos rendimientos mayores por parte de la geotermia, tienen exactamente la misma forma. En la Ilustración 110 se muestra como solo en los meses con muchas horas de luz y poco consumo la instalación es autosuficiente, teniendo que consumir bastante de la red en los meses de invierno. No obstante, teniendo en cuenta que la energía producida únicamente es capaz de abastecer la demanda diurna, entre abril y octubre se producen excedentes, mientras que en los demás meses hay una gran cantidad de demanda no satisfecha, la cual está compuesta por el consumo nocturno, más todo el consumo invernal que la instalación no es capaz de producir debido a la falta de luz. Este hecho se muestra más claramente en la Ilustración 111.

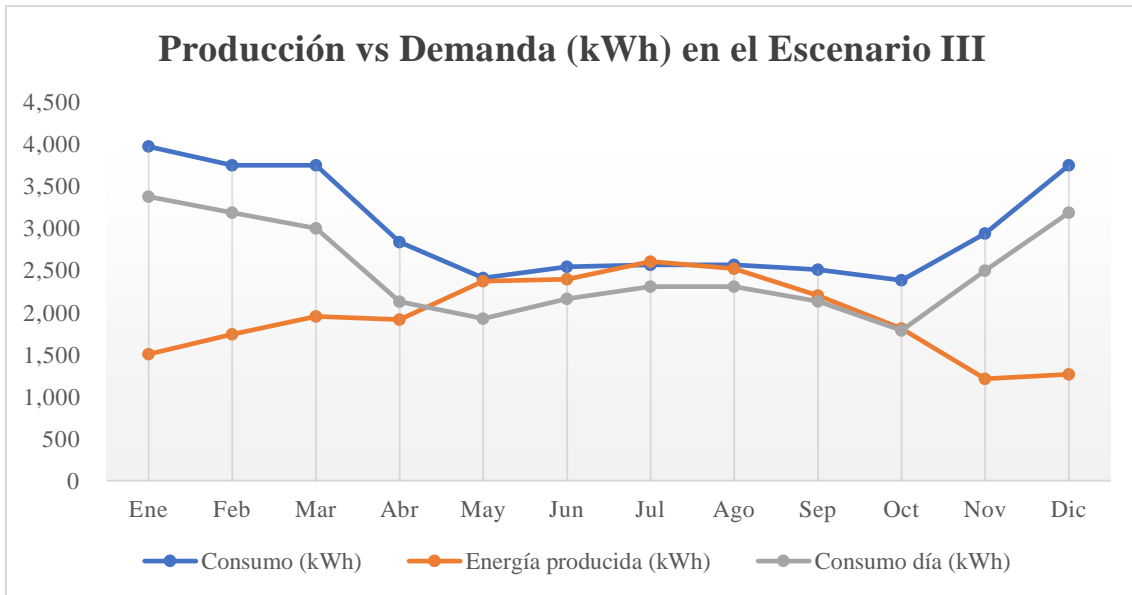


Ilustración 110. Producción vs demanda total de electricidad en el Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

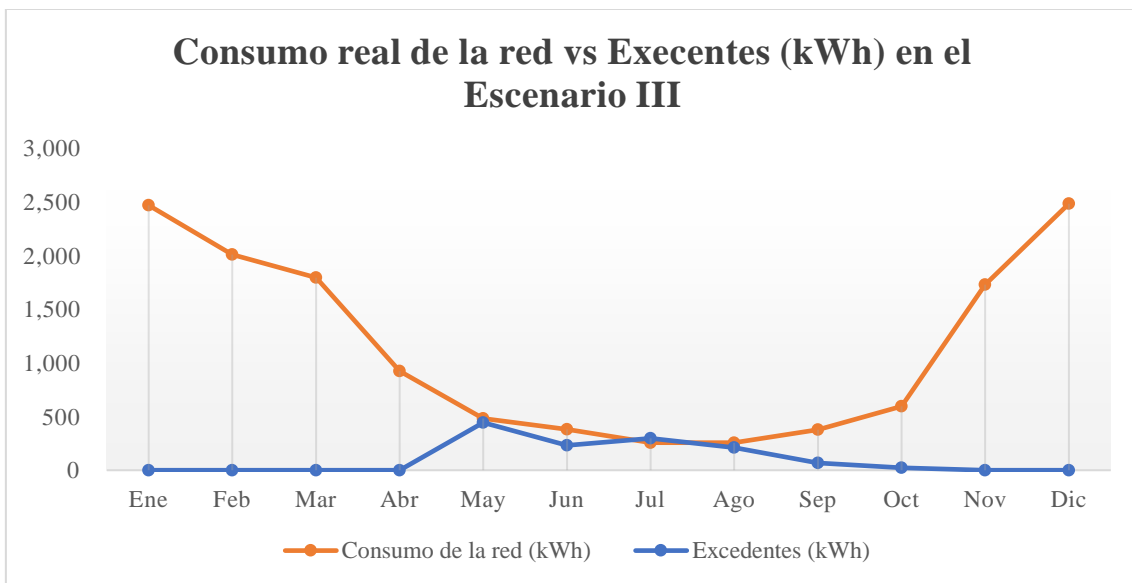


Ilustración 111. Consumo de la red vs excedentes de electricidad en el Escenario III (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.1.3.3. Análisis financiero

5.1.3.3.1. Gastos globales

- **Inversión:** Es el desembolso inicial a realizar en el año 0 por la compra de los materiales, construcción y puesta en marcha de la instalación de aerotermia y fotovoltaica. La cuantía total asciende a **102.108,70 €**, tal y como se muestra en la Tabla 56.

- **Gasto energético:** En este escenario, el único gasto energético será el de la **tarifa eléctrica**. Por tanto, el gasto energético será el pago mensual de la electricidad que se dará cada año a lo largo de los 25 años de vida útil. Se espera que vaya aumentando anualmente conforme a la inflación y a la tasa de descuento. En la Ecuación 8 se mostraba la forma de calcularla, para lo cual se debía tener en cuenta la potencia contratada del escenario (15 kW en punta y 10 kW en valle), así como las cuantías mensuales del consumo de la red y los excedentes (Ilustración 111). El cálculo de la tarifa eléctrica del primer año se muestra en la Tabla 59.

Tabla 59. Cálculo del término de la tarifa eléctrica en el año 1 para el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Consumo total (kWh)	Consumo de día (kWh)	Energía producida (kWh)	Consumo de la red (kWh)	Excedentes (kWh)	Gasto en electricidad
<i>Ene</i>	3.974	3.378	1.505	2.469	0	523,15 €
<i>Feb</i>	3.749	3.187	1.741	2.009	0	430,42 €
<i>Mar</i>	3.749	2.999	1.955	1.795	0	394,47 €
<i>Abr</i>	2.839	2.129	1.916	923	0	226,55 €
<i>May</i>	2.411	1.929	2.372	482	444	115,85 €
<i>Jun</i>	2.544	2.162	2.394	382	232	108,52 €
<i>Jul</i>	2.566	2.309	2.607	257	297	82,14 €
<i>Ago</i>	2.566	2.309	2.520	257	210	87,67 €
<i>Sep</i>	2.509	2.133	2.201	376	69	117,90 €
<i>Oct</i>	2.383	1.787	1.810	596	23	164,29 €
<i>Nov</i>	2.941	2.500	1.212	1.729	0	380,35 €
<i>Dic</i>	3.749	3.187	1.266	2.483	0	525,86 €
Totales	35.980	30.010	23.497	13.757	1.274	3.157,17 €

- **Gastos de Mantenimiento:** Según la empresa Ecopel, el mantenimiento de la instalación solar era de 90 € anuales. Dado que también hay que mantener la instalación de geotermia, se va a suponer un gasto total de mantenimiento de **300 €** anuales para todas las medidas tomadas, que serán corregidos cada año por la inflación.
- **Gastos de Asegurado de la instalación:** Según la empresa Ecopel, el mantenimiento de la instalación solar era de 90 € anuales. Contando con todos los equipos instalados, dado que tienen menos riesgo de avería que los paneles, se supondrá un gasto total de **300 €**.
- **Reemplazos:** Dado que la vida útil de los inversores es aproximadamente de unos 10 años, habrá que asumir una inversión extra en concepto de inversores (2.188

€) ajustada por la inflación en el año 12 (justo en el ecuador de la vida útil). Además, en la parte de fotovoltaica se asumían 1.000 € extra en concepto de cableados que pudieran estar averiados. Utilizando una hipótesis parecida, es normal que haya tuberías, válvulas, conexionados y bombas hidráulicas que también tendrán que ser reemplazados en dicho momento. Se asumirá que esto supondrá otros 1.000 € extra.

$$2.188 \cdot (1 + 21\%) \cdot (1 + 2\%)^{12} + 2.000 = \mathbf{5.357,64 \text{ €}}$$

5.1.3.3.2. Ingresos globales

- **Subvenciones:** Según la empresa instaladora Ecopel, la cuantía subvencionable por la parte de fotovoltaica es de exactamente 5.175 €. Además, también son subvencionables 6.000 € en concepto de geotermia. Todo ello suma un monto subvencionable de **11.175,00 €**.
- **Tarifa eléctrica:** Igual que supondrá un gasto a futuro, el “ingreso” más importante será el ahorro que se produciría en la factura por el hecho de instalar los paneles solares. Dado que en la parte de costes se han puesto los nuevos costes reales que se tendrán en la tarifa, para la parte de ingresos hay que poner exactamente los costes actuales de electricidad que se pagarían en la vivienda si no hubiese habido ni paneles solares fotovoltaicos, ni la nueva forma de climatización. De este modo, realmente se trata del mismo consumo actual, pero corregido teniendo en cuenta el extra de utilización en la vivienda. El cálculo del consumo eléctrico corregido por utilización se llevó a cabo en el apartado 3.4.1.1 y era de exactamente **23.618 kWh** anuales. Utilizando la Ecuación 6:

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 5\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 23.618 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = \mathbf{4.716,43 \text{ €}}$$

- **Gas:** De nuevo, se trata de exactamente el gasto actual en gas, pero corregido por la utilización. Dicho consumo, calculado también en el apartado 3.4.1.1 resultaba ser de exactamente **103.921 kWh** anuales. El precio del gas que se supondrá para el primer año y que irá subiendo conforme al IPC será exactamente igual que el gasto medio de las facturas que se obtuvo en los años 2021 y 2022 que se mostraban en la Tabla 1. En dicha tabla, el importe total pagado entre julio de 2021 y julio de 2022 ascendía a 4.539,37, mientras que el consumo total había sido de 61.341 kWh, tal y como se acaba de comentar. Dichos datos hacen que el precio del gas sea de exactamente **0,074 €/kWh**. Este precio, que incluye la parte fija y el tope del gas curiosamente, coincide exactamente con el valor del gas en el Mercado libre en julio de 2023 según Selectra.

$$103.921 \text{ kWh} \cdot 0,074 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = \mathbf{7.690,15 \text{ €}}$$

5.1.3.3.3. DCF

Tabla 60. DCF del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
+	Subvención	11.175,00 €									
	Ahorro en gas		7.690,15 €	7.843,95 €	8.000,83 €	8.160,85 €	8.324,07 €	8.490,55 €	8.660,36 €	8.833,57 €	9.010,24 €
	Ahorro en tarifa		4.716,43 €	4.810,76 €	4.906,97 €	5.005,11 €	5.105,22 €	5.207,32 €	5.311,47 €	5.417,70 €	5.526,05 €
-	Inversión	102.108,70 €									
	Coste de la electricidad		3.157,17 €	3.220,31 €	3.284,72 €	3.350,41 €	3.417,42 €	3.485,77 €	3.555,49 €	3.626,60 €	3.699,13 €
	Mantenimiento		300,00 €	306,00 €	312,12 €	318,36 €	324,73 €	331,22 €	337,85 €	344,61 €	351,50 €
	Asegurado		300,00 €	306,00 €	312,12 €	318,36 €	324,73 €	331,22 €	337,85 €	344,61 €	351,50 €
	Reemplazos										
=	FCF	-90.933,70 €	8.649,41 €	8.822,40 €	8.998,85 €	9.178,82 €	9.362,40 €	9.549,65 €	9.740,64 €	9.935,45 €	10.134,16 €
	FCF acumulado	-90.933,70 €	-82.284,29 €	-73.461,89 €	-64.463,05 €	-55.284,22 €	-45.921,82 €	-36.372,18 €	-26.631,53 €	-16.696,08 €	-6.561,92 €
	DCF	-90.933,70 €	8.237,53 €	8.002,18 €	7.773,54 €	7.551,44 €	7.335,69 €	7.126,09 €	6.922,49 €	6.724,71 €	6.532,57 €
	VAN	-90.933,70 €	-82.696,17 €	-74.693,99 €	-66.920,45 €	-59.369,01 €	-52.033,32 €	-44.907,23 €	-37.984,74 €	-31.260,03 €	-24.727,46 €

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

		<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
+	Subvención										
	Ahorro en gas	9.190,44 €	9.374,25 €	9.561,73 €	9.752,97 €	9.948,03 €	10.146,99 €	10.349,93 €	10.556,93 €	10.768,07 €	10.983,43 €
	Ahorro en tarifa	5.636,57 €	5.749,30 €	5.864,29 €	5.981,57 €	6.101,21 €	6.223,23 €	6.347,69 €	6.474,65 €	6.604,14 €	6.736,22 €
-	Inversión										
	Coste de la electricidad	3.773,11 €	3.848,57 €	3.925,54 €	4.004,05 €	4.084,14 €	4.165,82 €	4.249,14 €	4.334,12 €	4.420,80 €	4.509,22 €
	Mantenimiento	358,53 €	365,70 €	373,01 €	380,47 €	388,08 €	395,84 €	403,76 €	411,84 €	420,07 €	428,47 €
	Asegurado	358,53 €	365,70 €	373,01 €	380,47 €	388,08 €	395,84 €	403,76 €	411,84 €	420,07 €	428,47 €
	Reemplazos			5.357,64 €							
=	FCF	10.336,85 €	10.543,58 €	5.396,81 €	10.969,54 €	11.188,93 €	11.412,71 €	11.640,97 €	11.873,79 €	12.111,26 €	12.353,49 €
	FCF acumulado	3.774,93 €	14.318,51 €	19.715,32 €	30.684,87 €	41.873,80 €	53.286,51 €	64.927,48 €	76.801,27 €	88.912,53 €	101.266,02 €
	DCF	6.345,93 €	6.164,61 €	3.005,15 €	5.817,38 €	5.651,17 €	5.489,71 €	5.332,86 €	5.180,49 €	5.032,48 €	4.888,69 €
	VAN	-18.381,54 €	-12.216,92 €	-9.211,77 €	-3.394,39 €	2.256,78 €	7.746,49 €	13.079,35 €	18.259,85 €	23.292,33 €	28.181,02 €

Javier Ros Martín
ANÁLISIS DE RESULTADOS

		<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>	<i>25</i>
+	Subvención						
	Ahorro en gas	11.203,10 €	11.427,16 €	11.655,70 €	11.888,82 €	12.126,59 €	12.369,12 €
	Ahorro en tarifa	6.870,95 €	7.008,37 €	7.148,53 €	7.291,50 €	7.437,33 €	7.586,08 €
-	Inversión						
	Coste de la electricidad	4.599,40 €	4.691,39 €	4.785,22 €	4.880,92 €	4.978,54 €	5.078,11 €
	Mantenimiento	437,04 €	445,78 €	454,70 €	463,79 €	473,07 €	482,53 €
	Asegurado	437,04 €	445,78 €	454,70 €	463,79 €	473,07 €	482,53 €
	Reemplazos						
=	FCF	12.600,56 €	12.852,57 €	13.109,62 €	13.371,81 €	13.639,25 €	13.912,03 €
	FCF acumulado	113.866,57 €	126.719,14 €	139.828,76 €	153.200,57 €	166.839,82 €	180.751,85 €
	DCF	4.749,02 €	4.613,33 €	4.481,52 €	4.353,48 €	4.229,09 €	4.108,26 €
	VAN	32.930,04 €	37.543,37 €	42.024,89 €	46.378,37 €	50.607,46 €	54.715,73 €

Inversión	102.108,70 €
VAN	54.715,73 €
VAN/Inversión	0,54
TIR	9,9%
Payback	9,63

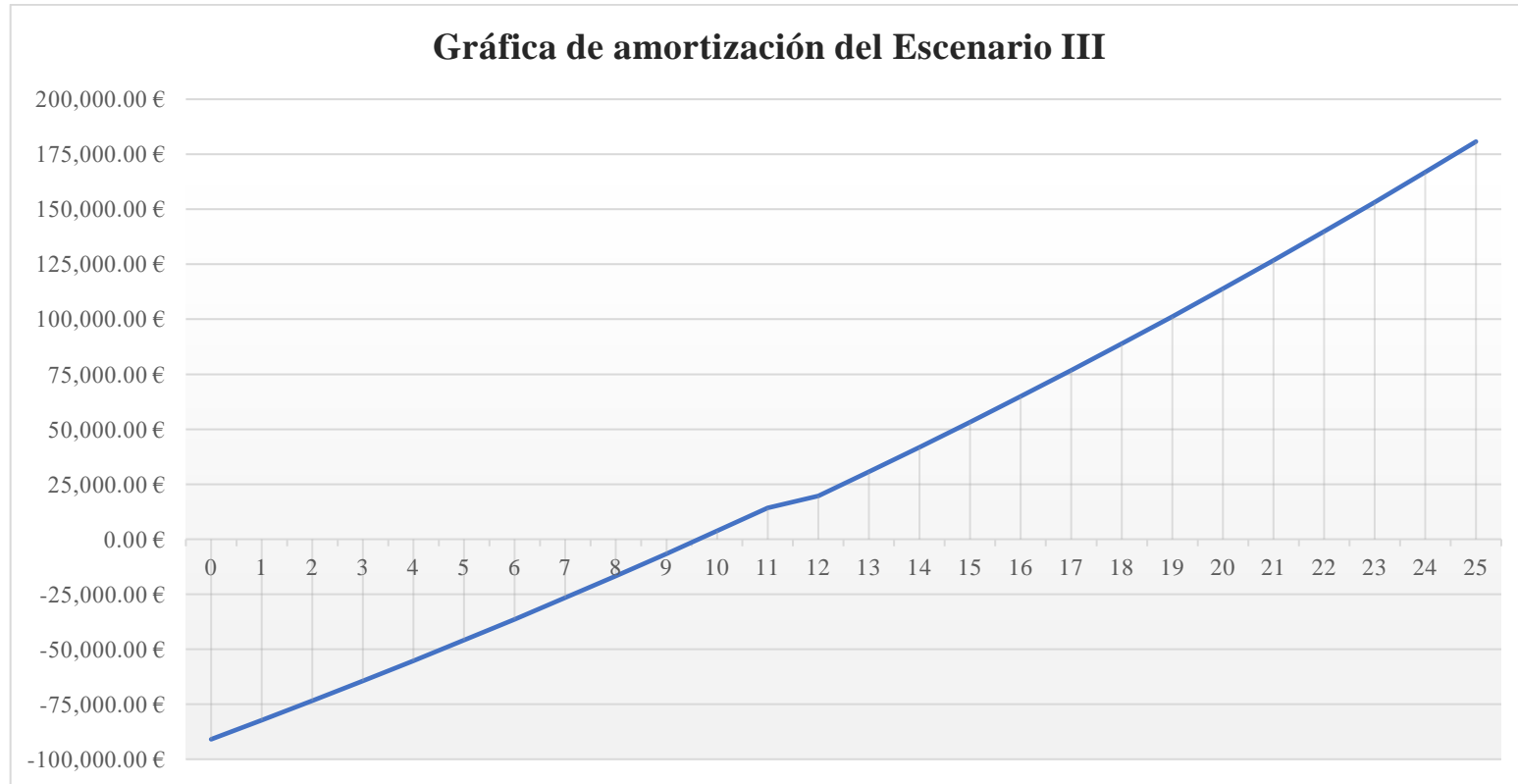


Ilustración 112. Gráfica de amortización del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.3.3.4. Análisis marginal

➤ *Coste normalizado de la aerotermia*

Utilizando la Ecuación 11 como base, el coste normalizado total se muestra en la Tabla 61 y se explica a continuación.

Tabla 61. Coste normalizado del Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

CAPEX	OPEX		Coste normalizado de la Geotermia
	Combustible	Mantenimiento	
39,83 €/MWh	36,29 €/MWh	4,27 €/MWh	80,39 €/MWh
49,55%	45,14%	5,31%	100%

- **CAPEX:**

- **Inversión:** La inversión a realizar en el apartado aerotérmico, es decir, los tres primeros puntos de la Tabla 42, que suman un desembolso de **68.600,85 €**.
- **Producción:** Hace referencia a la producción calefacción y refrigeración anual. La producción de calefacción a la que tiene que hacer frente es de 103.921 kWh y la de refrigeración es de 18.375 kWh (véase apartado 3.4.1.1). Dado que todo es eléctrico y se realiza por el mismo sistema, ambos valores se pueden sumar, dando lugar a una producción de frío/calor anual de **122.296 kWh**.

$$CAPEX = \frac{68.600,85 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 0,071 = 39,83 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

- **OPEX:**

- **Coste de combustible:** Si no hubiese paneles solares fotovoltaicos, el consumo de electricidad en la vivienda sería el correspondiente a los 35.980 kWh que se consumen en el Escenario III. No obstante, solo serían atribuibles a geotermia el consumo en calefacción y refrigeración, quitando la parte de la luz. Esto hace que el consumo sea de 15.580 kWh (Tabla 19). De este modo, según la Ecuación 6, el precio pagado por la tarifa eléctrica con ese consumo sería de:

$$\left[\left(\frac{0,075\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 15\text{kW} + \frac{0,015\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{día}} \cdot 10\text{kW} \right) \cdot 365 \text{ días} + \left(\frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 15.580 \text{ kWh} \right) \right] \cdot (1 + 5,11\%) + 1,50 \text{ €} \cdot (1 + 21\%) = 3.565,96 \text{ €}$$

De este modo, el coste normalizado del combustible, teniendo en cuenta la misma producción de **122.296 kWh** es:

$$C_{F,\text{€}} = \frac{3.565,96 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 17,528 \cdot 0,071 = 36,29 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

- **Mantenimiento y asegurado:** La parte de mantenimiento y asegurado correspondiente a la instalación geotérmica es de **210 €** en concepto de mantenimiento y **210 €** en concepto de asegurado.

$$C_{M,\text{€}} = \frac{420,00 \text{ €}}{122,296 \text{ MWh}} \cdot 17,528 \cdot 0,071 = 4,27 \frac{\text{€}}{\text{MWh}}$$

➤ *DCF de la instalación solar fotovoltaica para aerotermia*

Dando por hecho que la instalación de aerotermia ya existiese previamente en la vivienda, entonces, el DCF que se explicó y realizó en el apartado 4.2.4.1.3 con el fin de optimizar la instalación fotovoltaica, cobraría sentido. Es decir, los resultados que se obtuvieron y que se resumen de nuevo a continuación son útiles en el caso en el que se quiera estudiar la rentabilidad de la inversión por separado. Los resultados más importantes de aquel dimensionamiento se muestran en la Tabla 62 y en la Ilustración 113.

Tabla 62. KPIs financieros del Escenario I del dimensionamiento de la instalación solar FV.
(Fuente: Elaboración propia)

Módulos	<i>Modelo</i>	Módulo fotovoltaico EX460-480HJT
	<i>Número</i>	26,00
Inversores	<i>Modelo</i>	Inversor SAJ Serie R5 de 5K - S2
	<i>Número</i>	2,00
Rentabilidad	<i>Inversión</i>	19.647,18 €
	<i>VAN</i>	54.254,26 €
	<i>VAN/Inversión</i>	2,76
	<i>TIR</i>	30,2%
	<i>Payback</i>	3,41

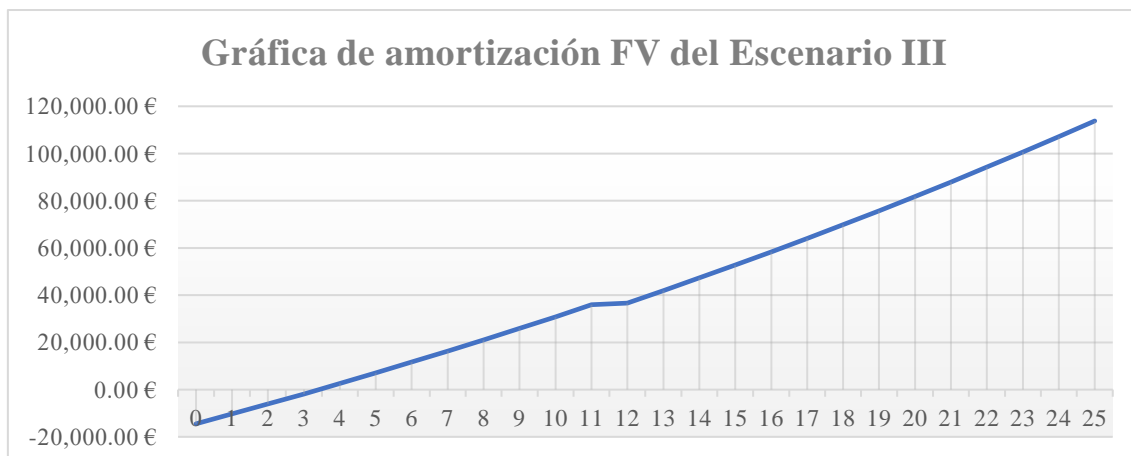


Ilustración 113. Gráfica de amortización del Escenario III del dimensionamiento de la instalación solar FV. (Fuente: Elaboración propia)

5.2. COMPARATIVA DE LOS ECENARIOS

El objetivo de este apartado es ilustrar de manera comparativa los resultados obtenidos y analizados en el apartado previo. El orden que se va a seguir para realizar este análisis va a ser exactamente el mismo que en el apartado anterior, es decir, se empezará comentando todas las modificaciones realizadas en cada escenario, posteriormente se comparará desde un punto de vista energético, y se acabará con la visión financiera.

Antes de meterse plenamente en el análisis, simplemente a título informativo, en la Tabla 70 se muestra cuáles de los cambios que fueron ideados durante la realización del TFG siguen teniéndose en cuenta. Aunque no aporta ningún tipo de información relacionado con la rentabilidad o ahorro de energía, es útil para cualquier persona que quisiera saber el estado en el que se encuentran las medidas de ese primer documento que conforma este proyecto de revitalización energética de la vivienda de Montepíncipe.

Tabla 63. Estado de las medidas del TFG en cada escenario. (Fuente: Elaboración propia)

Área	Modificaciones	Escenario I	Escenario II	Escenario III
Calefacción	Aislamientos en ventanas	✔	✔	✔
	Radiadores y accesorios		✔	✔
Bombeo	Circulación ACS	✔		✔
	Recirculación ACS	✔	✔	✔
	Circulación calefacción			
	Circulación caldera depósito			

5.2.1. RESUMEN DE LAS INSTALACIONES PROPUESTAS

5.2.1.1. Calefacción

Tabla 64. Análisis comparativo de los cambios realizados en calefacción. (Fuente: Elaboración propia)

		Escenario I	Escenario II	Escenario III
Fuente de Energía	<i>Máquina</i>	Bomba de calor aire/agua	Caldera de biomasa	Bomba de calor geotérmica
	<i>Marca</i>	Monoblocco R32 de Mitsui	Hargassner, Smart-PK32	Claussius Classic HC 25
	<i>Combustible utilizado</i>	Electricidad	Pellets	Electricidad
	<i>Fluido a calentar</i>	Agua	Agua	Agua
	<i>Potencia útil</i>	30 kW	32 kW	25 kW
	<i>Rendimiento (SCOP)</i>	4,19	0,95	5,10
Circuito de ACS	<i>Circuito de tuberías</i>	Cambios puntuales según necesidad (Ilustración 149)	Cambios puntuales según necesidad (Ilustración 149)	Cambios puntuales según necesidad (Ilustración 149)
	<i>Bomba de circulación</i>	Grundfos CME 1-2 A	Integrada con los depósitos	Grundfos CME 1-2 A
	<i>Interacumulador ACS</i>	Interacumulador ACS Baxi	Domusa DUO 750/100	Interacumulador ACS Baxi
	<i>Capacidad</i>	300 L	190 L	300 L
Circuito de calefacción	<i>Circuito de tuberías</i>	Rediseño del circuito con tuberías de PWC y colectores	Cambios puntuales según necesidad (Ilustración 148)	Cambios puntuales según necesidad (Ilustración 148)
	<i>Bomba de circulación</i>	Grundfos Magna1 32-100	Integrada con los depósitos	DAB Alta Eficiencia
	<i>Depósito de Inercia</i>	Mitsui 100	Domusa DUO 750/100	IDROGAS AR-A100
	<i>Capacidad</i>	100 L	750 L	100 L
	<i>Emisores</i>	Suelo radiante GRAFIPLAC	Radiadores de Aluminio Ferroli EUROPA C	Radiadores de Aluminio Ferroli EUROPA C

5.2.1.2. Refrigeración

Tabla 65. Análisis comparativo de los cambios realizados en refrigeración. (Fuente: Elaboración propia)

		Escenario I	Escenario II	Escenario III
Fuente de Energía	<i>Máquina</i>	Bomba de calor aire/agua	Bomba de calor aire/aire	Bomba de calor geotérmica
	<i>Marca</i>	Monoblocco R32 de Mitsui	HTW Admira R32	Claussius Classic HC 25
	<i>Combustible utilizado</i>	Electricidad	Electricidad	Electricidad
	<i>Fluido a enfriar</i>	Agua	Aire	Agua
	<i>Potencia útil</i>	31 kW	32 kW	25 kW
	<i>Rendimiento (SEER)</i>	5,71	6,50	6,80
Circuito	<i>Esquema</i>	Circuito tuberías calefacción	Sistema de conductos	Circuito tuberías calefacción
	<i>Emisores</i>	Suelo radiante GRAFIPLAC	Rejillas	Radiadores de Aluminio Ferroli EUROPA C

5.2.1.3. Instalación FV

Tabla 66. Análisis comparativo de las Instalación FV propuestas. (Fuente: Elaboración propia)

		Escenario I	Escenario II	Escenario III
Módulos EX460-480HJT	<i>Número</i>	28	23	26
	<i>Superficie Ocupada</i>	60,93 m ²	50,05 m ²	56,58 m ²
	<i>Potencia Pico</i>	13,44 kW	11,04 kW	12,28 kW
Inversores SAJ Serie R5-S2	<i>Potencia</i>	7,50 kW	12,00 kW	7,50 kW
	<i>Número</i>	2	1	2

5.2.2. ANÁLISIS ENERGÉTICO

Tabla 67. Análisis energético de los tres escenarios (datos anuales en kWh suponiendo utilización máxima en todos los escenarios). (Fuente: Elaboración propia)

		Instalación existente	Escenario I	Escenario II	Escenario III
<i>Consumo en calefacción</i>	<i>Ilustración 114</i>	103.921	15.675	68.917	12.878
<i>Consumo en refrigeración</i>	<i>Ilustración 115</i>	0	3.218	2.827	2.702
<i>Consumo de luz</i>	-	19.700	20.400	20.400	20.400
<i>Consumo energético total</i>	<i>Ilustración 116</i>	124.321	39.293	92.144	35.980
<i>Consumo eléctrico total</i>	<i>Ilustración 117</i>	19.700	39.293	23.227	35.980
<i>Producción eléctrica</i>	<i>Ilustración 118</i>	13.556	25.305	20.786	23.497
<i>Demanda no satisfecha</i>	<i>Ilustración 119</i>	6.720	15.515	5.249	13.757
<i>Exceso de producción</i>	<i>Ilustración 120</i>	576	1.527	2.808	1.274

5.2.2.1. Perfil de consumo en calefacción

Conclusión: Aunque el Escenario II supone un ahorro energético importante con respecto a la situación base, el consumo energético en calefacción en los escenarios I y III es mucho menor debido a que, tanto la aerotermia como la geotermia presentan rendimientos mucho más elevados. No obstante, hay que tener en cuenta que ahorro energético no es lo mismo que ahorro económico, dado que la electricidad tiene un coste mayor que el gas y los pellets.

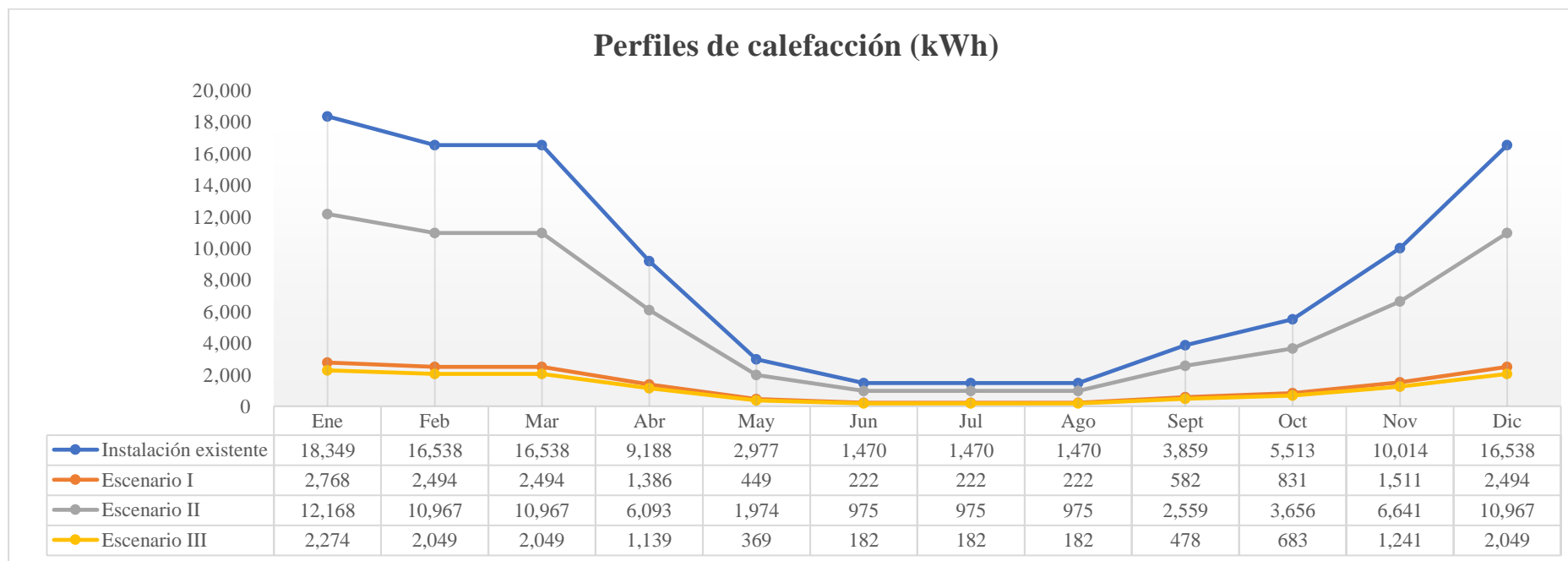


Ilustración 114. Perfil de consumo de calefacción en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.2. Perfil de consumo en refrigeración

Conclusión: En este caso, todos los escenarios suponen un consumo extra respecto a la situación actual, dado que no existía una instalación de refrigeración en la vivienda. Los tres escenarios tienen un rendimiento muy similar, dado que son tecnologías muy parecidas, siendo la de mejor rendimiento la solución de geotermia.

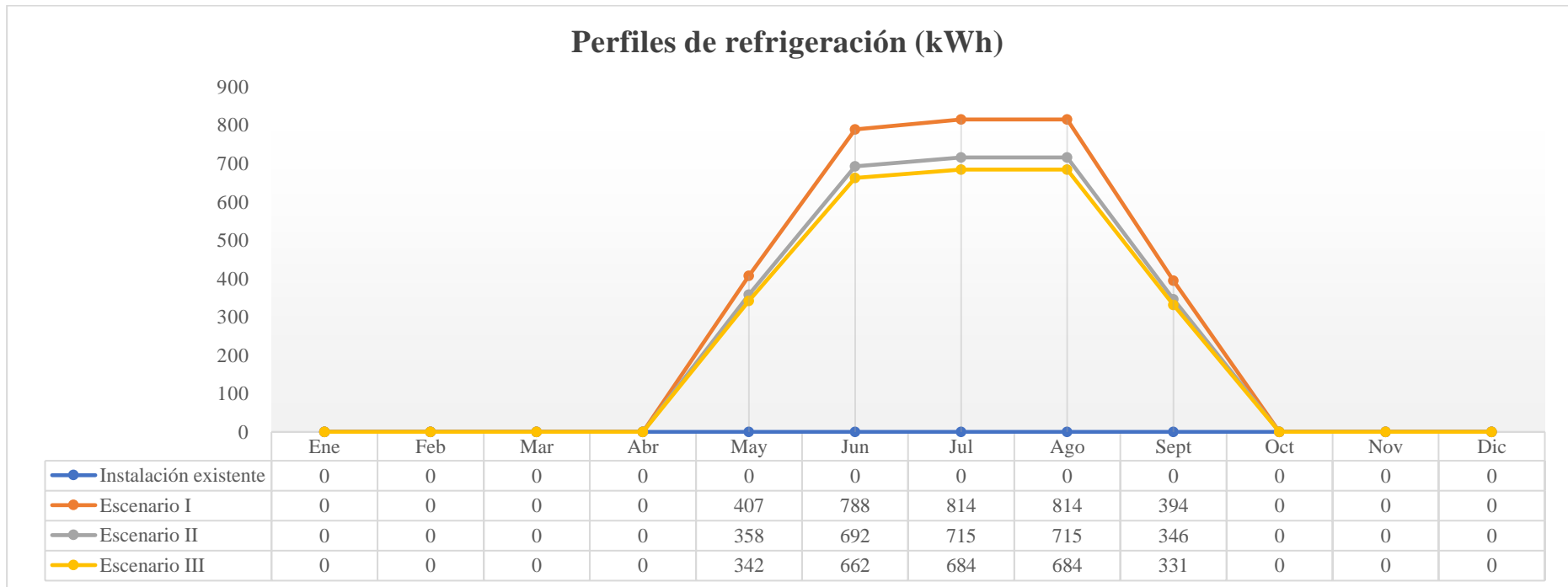


Ilustración 115. Perfil de consumo de refrigeración en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.3. Perfil de consumo energético total

Conclusión: En el caso de la Instalación existente y del Escenario II el consumo energético total (juntando diferentes combustibles) se dispara fruto del elevado gasto en calefacción con respecto a lo que supone la refrigeración o el gasto de luz. Sin embargo, en los Escenarios I y III que son puramente eléctricos, el consumo energético es más equilibrado. No obstante, esta gráfica solo tiene sentido si se mira desde un punto de utilización de recursos.

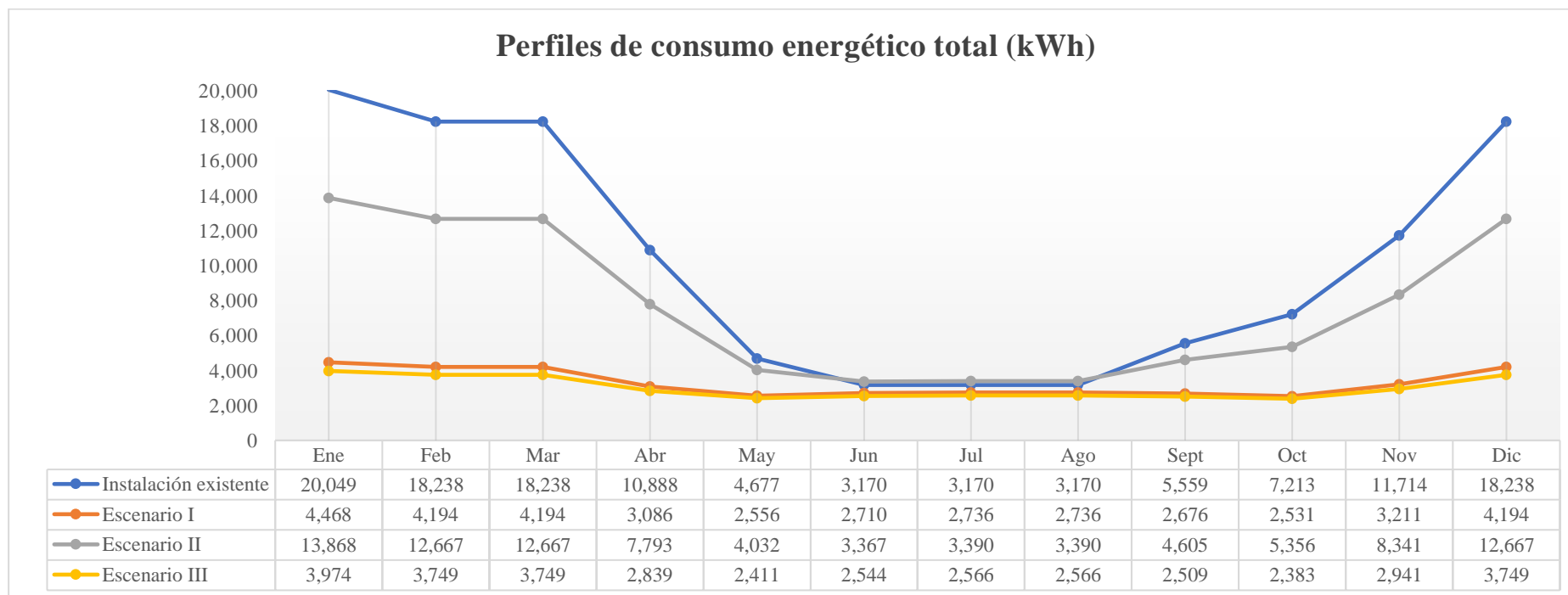


Ilustración 116. Perfil de consumo energético total en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.4. Perfil de consumo eléctrico total

Conclusión: Dado que los Escenarios I y III son puramente eléctricos, el gasto en electricidad será mayor que en el Escenario restante. Además, es por esta razón por la que tienen la forma clásica de bañera con más consumo en los meses de invierno que en los de verano. Por el contrario, el Escenario II tiene forma contraria, dado que su mayor gasto eléctrico se da en verano fruto de la refrigeración. Estos perfiles de consumo eléctrico han sido la base del dimensionamiento fotovoltaica que se explica en los siguientes puntos.

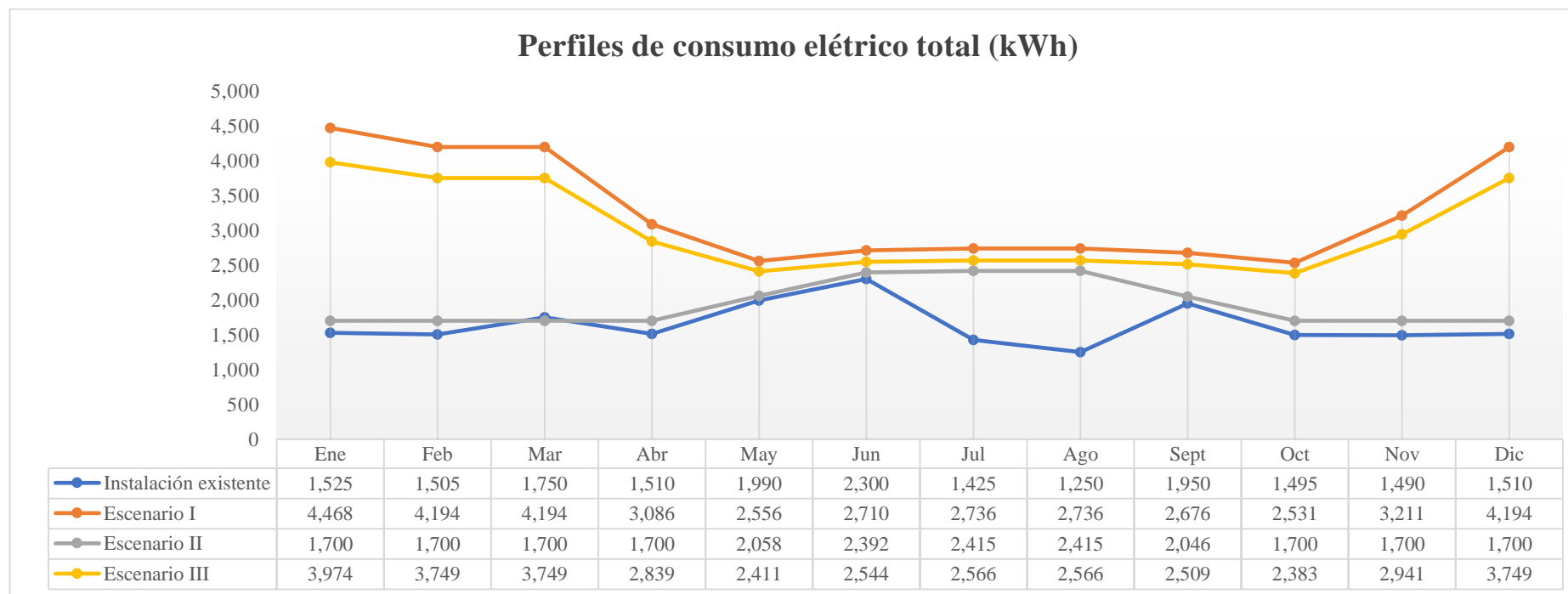


Ilustración 117. Perfil de consumo eléctrico total en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.5. Perfil de producción eléctrica total

Conclusión: Los perfiles de producción tienen todos ellos la misma forma porque todos están calculados con los mismos valores de irradiación mensuales. Simplemente, son proporcionales a la potencia pico de la instalación que se calculaba en función del consumo. Tal y como era de esperar, los escenarios con más consumo eléctrico requerirán de una instalación más grande que produzca más electricidad. De este modo, el primero de los escenarios tendrá la mayor de las producciones, seguido del Escenario III, luego del II y, por último, de la instalación actual.

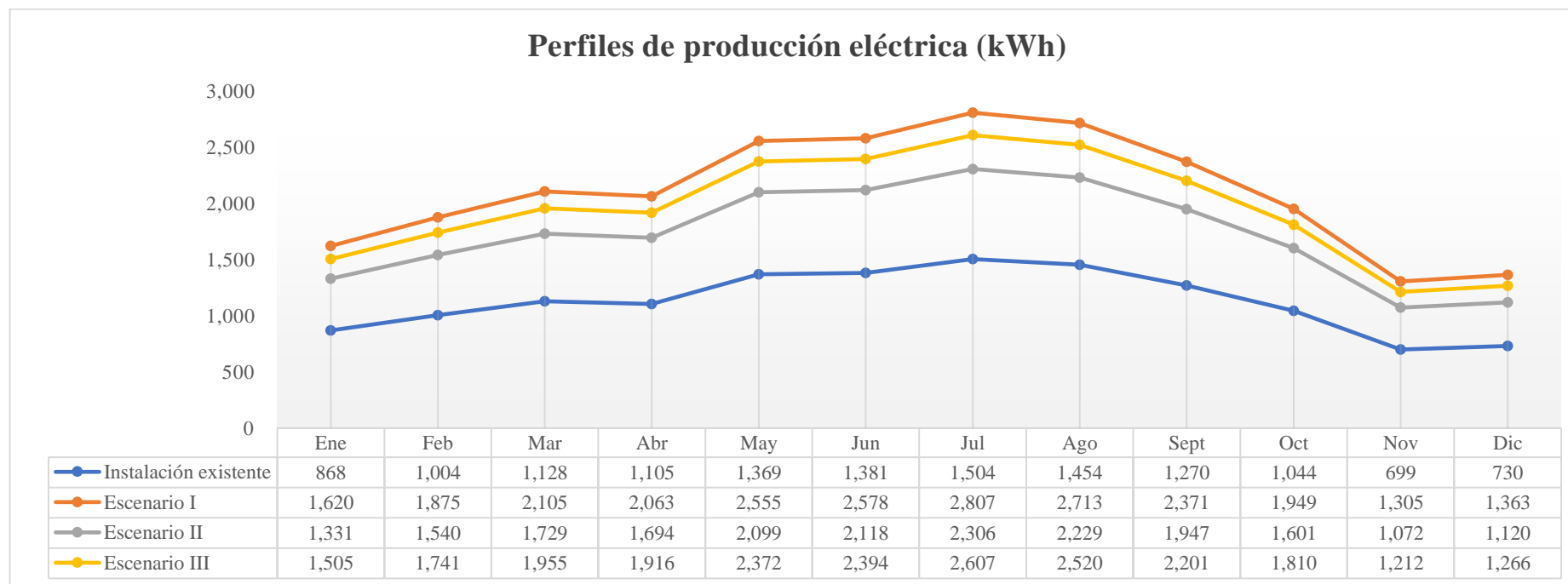


Ilustración 118. Perfil de producción eléctrica en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.6. Perfil de demanda no satisfecha por la instalación FV

Conclusión: La demanda no satisfecha por la instalación de paneles solares fotovoltaicas es mucho más grande en los escenarios de aerotermia y geotermia, dado que el consumo más grande de electricidad se da justo cuando la producción es menor porque hay menos horas de Sol. Por esta razón, son instalaciones solares menos óptimas en las que en el futuro puede ser interesante incluir aparatos de almacenaje en la instalación solar.

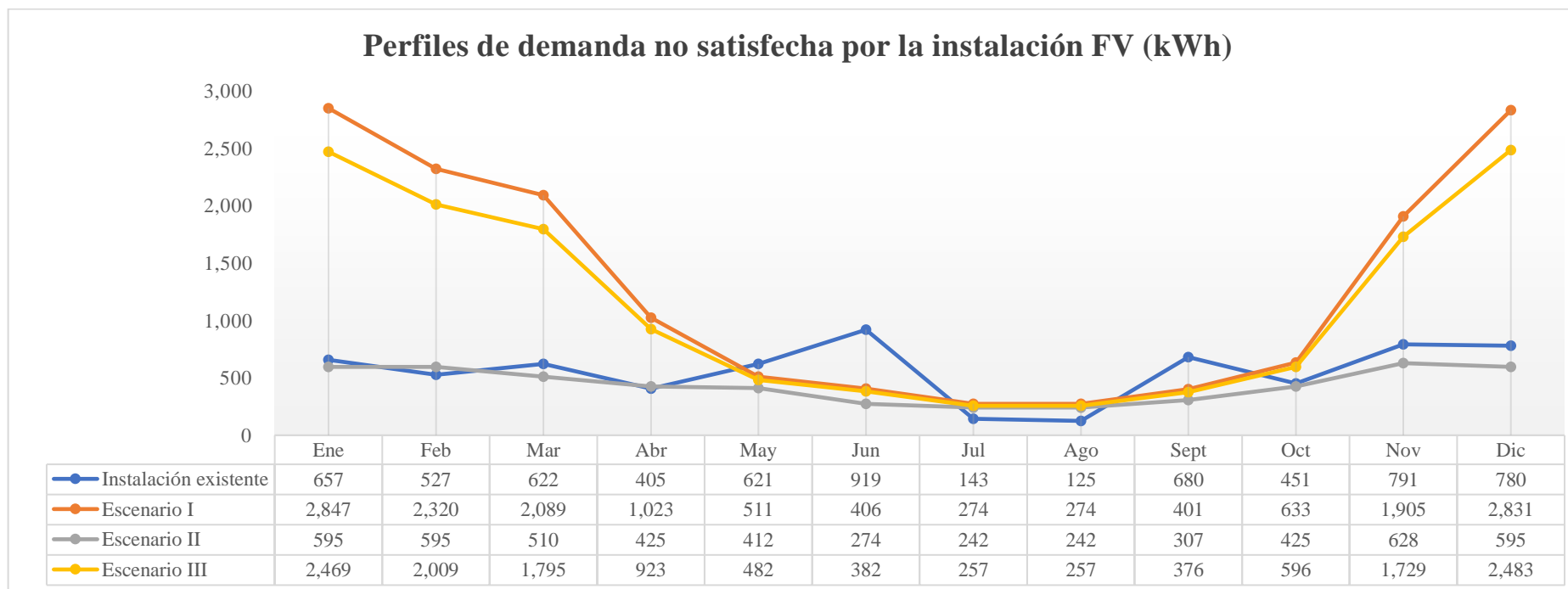


Ilustración 119. Perfil de demanda no satisfecha en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2.7. Perfil de excedentes de la instalación FV

Conclusión: La gráfica de excedentes simplemente sirve para mostrar que en los meses de verano suele haber más excedentes que en los meses de invierno, donde hay menos horas de Sol. El Escenario con más excedentes es el II. No obstante, este hecho no tiene ninguna consecuencia directa ni se puede extraer ninguna conclusión valiosa.

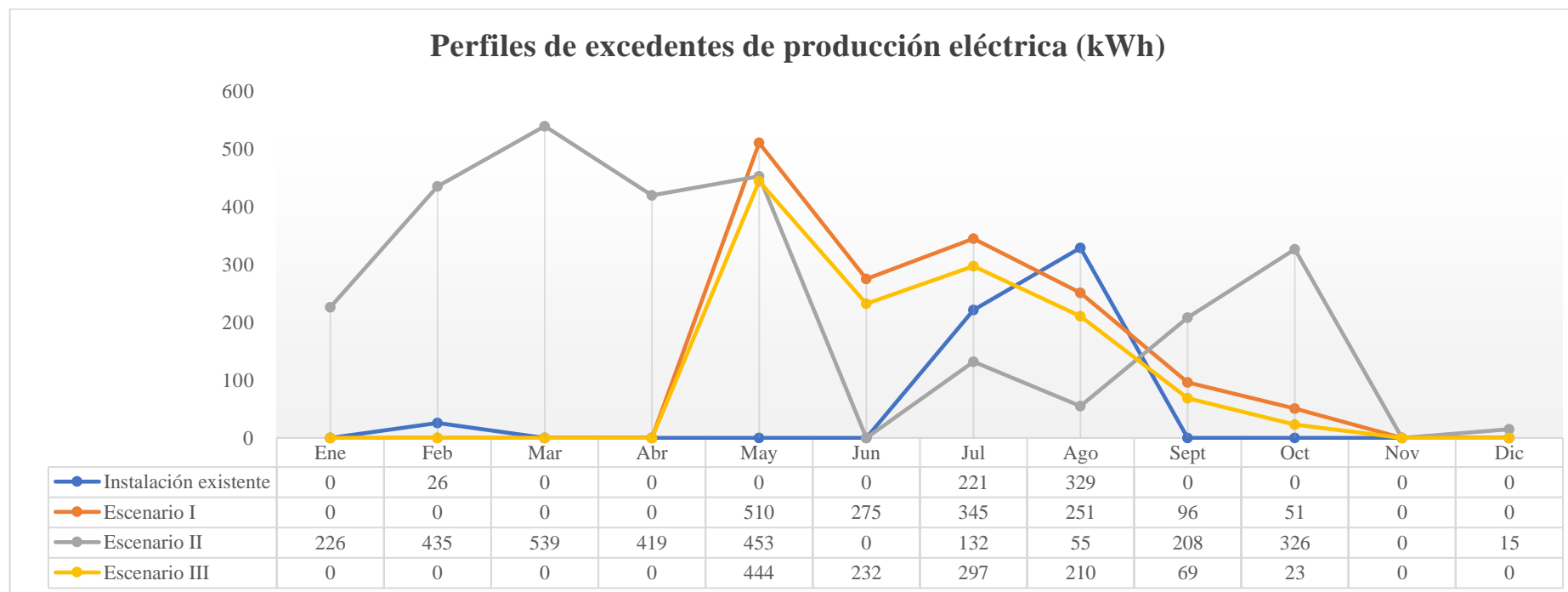


Ilustración 120. Perfil de exceso de producción en todos los escenarios (kWh). (Fuente: Elaboración propia)

5.2.3. ANÁLISIS FINANCIERO

Tabla 68. Análisis financiero de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia)

		Escenario I	Escenario II	Escenario III
Ingresos (+)	<i>Subvención</i>	11.775,00 €	10.675,00 €	11.175,00 €
	<i>Ahorro en gas</i>	7.690,15 €	7.690,15 €	7.690,15 €
	<i>Ahorro en tarifa</i>	4.716,43 €	4.716,43 €	4.716,43 €
Gastos (-)	<i>Inversión</i>	110.743,97 €	96.868,13 €	102.108,70 €
	<i>Coste de la energía</i>	3.476,49 €	6.051,54 €	3.157,17 €
	<i>Mantenimiento</i>	200,00 €	250,00 €	300,00 €
	<i>Asegurado</i>	150,00 €	190,00 €	300,00 €
	<i>Reemplazos</i>	5.357,64 €	4.301,86 €	5.357,64 €
Resultados del DCF global	<i>VAN</i>	45.489,25 €	13.052,93 €	54.715,73 €
	<i>VAN/Inversión</i>	0,41	0,13	0,54
	<i>TIR</i>	8,8%	6,3%	9,9%
	<i>Payback</i>	10,48 años	13,48 años	9,63 años
	<i>Ahorro energético (€)</i>	71,98%	51,22%	74,55%
Coste Normalizado	<i>CAPEX</i>	44,22 €/MWh	38,21 €/MWh	39,83 €/MWh
	<i>OPEX</i>	44,45 €/MWh	60,69 €/MWh	40,56 €/MWh
	<i>Total</i>	88,67 €/MWh	98,90 €/MWh	80,39 €/MWh

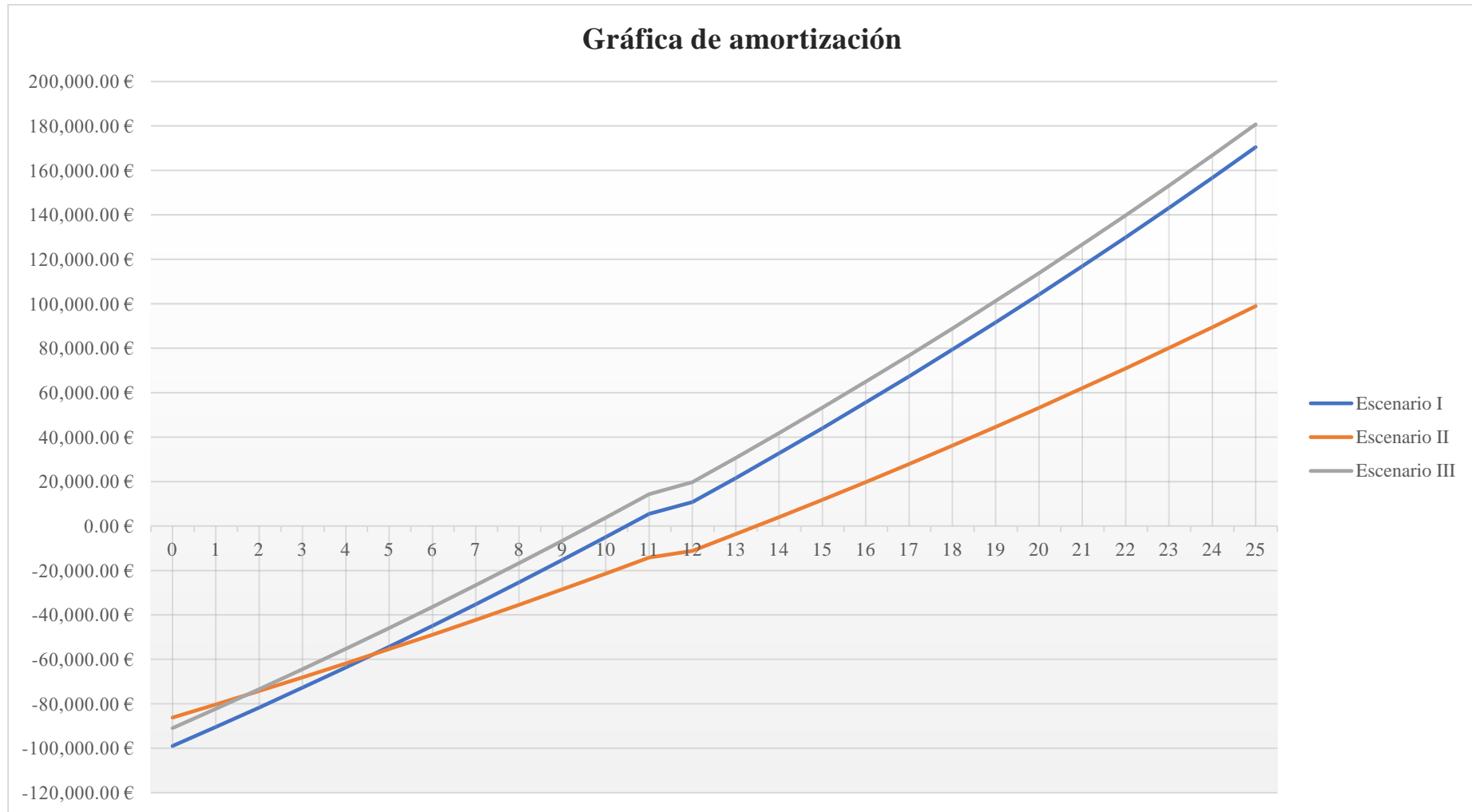


Ilustración 121. Gráficas de amortización de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia)

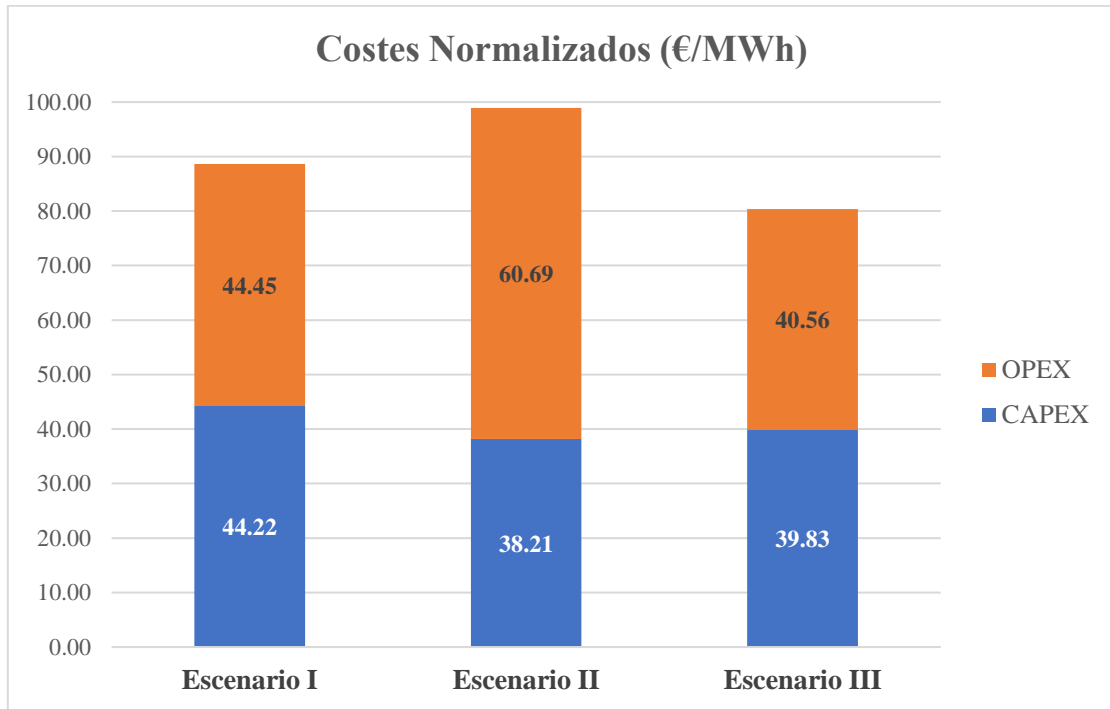


Ilustración 122. Costes normalizados de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia)

Conclusión: En resumidas cuentas, todo el trabajo y análisis realizado a lo largo de este proyecto de revitalización energética de la vivienda desemboca en los resultados mostrados en este análisis financiero. Aunque no se trata de la opción más barata, el **Escenario III**, que es la opción de **geotermia con circuito de agua con radiadores**, es la que mejor rendimiento energético y, por tanto, económico aporta a la vivienda. No solo tiene el coste normalizado más bajo, sino que posee el menor *payback*, a la vez que el mayor TIR y VAN de los tres escenarios.

6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Tras el análisis de resultados llevado a cabo en el capítulo anterior, en el que se ha revisado, tanto individual, como colectivamente los resultados y propuestas realizadas a lo largo del trabajo, es ahora momento de concluir el trabajo mediante la revisión de los objetivos propuestos al principio de este y la toma de decisiones. Además, se incluirá un pequeño apartado de futuras líneas de actuación en caso de querer seguir optimizando la vivienda en otros aspectos.

6.1. CONCLUSIONES

El proyecto que es objeto de estudio nació dos años atrás mediante la realización del TFG, con la motivación de renovar energéticamente un chalé residencial ubicado en la urbanización de Montepíncipe. Ante una visible falta de confort y unos gastos energéticos – y, por tanto, económicos – disparatados en el inmueble, el principal objetivo era encontrar una solución a dichos problemas en consonancia con el desarrollo sostenible y los últimos avances de la técnica.

Tras un primer estudio de los problemas más apremiantes, durante el TFG se propusieron una serie de medidas encaminadas a resolver los problemas relacionados con el bombeo de agua caliente y con la instalación de calefacción. Aunque dichas propuestas cumplían con los objetivos propuestos – suponían un gran ahorro y aumento del confort y estaban en consonancia con las nuevas tecnologías y el desarrollo sostenible – y han seguido estando presentes durante la realización de este TFM, éstas fueron pensadas desde un punto de vista cortoplacista, práctico y eficaz. Es decir, se detectaban problemas concretos en las instalaciones estudiadas y, tras un análisis preciso, se elegía una alternativa viable que sirviera como reemplazo.

De este modo y visto que, dos años más tarde, las propuestas todavía no habían sido llevadas a cabo, se decidió comenzar este TFM a modo de continuación y revisión de lo realizado en el TFG dos años atrás. En este nuevo trabajo, sin embargo, se cambia por completo la metodología utilizada dos años atrás. Mientras que en el TFG se ponía el foco en los diversos problemas que presentaban diferentes instalaciones de la vivienda por separado, en este TFM se pretendía crear una solución energética íntegra para el inmueble que fuese capaz de aumentar el confort y rebajar el gasto energético.

Para llegar a la solución óptima se decidió que el *modus operandi* más adecuado sería crear diferentes escenarios energéticos y dividir el trabajo en dos partes bien diferenciadas, cada una con sus propios hitos y objetivos medibles. Por un lado, se pretendía diseñar de cero una instalación de climatización, que incluyera refrigeración (inexistente en la vivienda hasta el momento), calefacción y ACS, y, por el otro, se buscaba diseñar una instalación solar fotovoltaica en el tejado de la vivienda que rebajara el gasto eléctrico y permitiese aprovechar las sinergias con la instalación de climatización previamente diseñada. Por último, se analizarían los resultados de cada uno de los escenarios y se elegiría el más adecuado y viable para el chalé ubicado en Montepíncipe.

6.1.1. HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CLIMATIZACIÓN

Aunque durante el TFG ya se habían propuesto medidas en los ámbitos de calefacción y ACS, el objetivo de este apartado era diseñar de cero tres escenarios de climatización que englobaran de manera exhaustiva todos los componentes necesarios en una instalación: Refrigeración, calefacción, ACS, e incluso los aislamientos. De este modo, aunque se iban a tener en cuenta los cambios propuestos durante el TFG, se pusieron como hitos los dos siguientes puntos, los cuales han sido satisfactoriamente completados.

- **Estado del arte y elección de los escenarios:** Dado que se pretendía crear escenarios que fueran, a la vez, rentables y alineados con el desarrollo sostenible, el primer hito consistía en realizar una buena revisión del estado del arte que permitiera avalar inicialmente dichos escenarios. De este modo, mediante la revisión realizada en el apartado 3.1 de este trabajo, en el que se explicaban todas las tecnologías disponibles y sus accesorios, se llegó a la conclusión de que serían tres los escenarios que formarían parte de este trabajo:
 - **Escenario I:** Climatización íntegra de **aerothermia** con suelo radiante.
 - **Escenario II:** Caldera de **biomasa** con radiadores y aire acondicionado por **aerothermia**.
 - **Escenario III:** Climatización íntegra de **geothermia** con radiadores.
- **Dimensionamiento correcto de los escenarios:** Para poder asegurar confort y ahorro y, a la vez, que la decisión final esté basada, tanto en observaciones cualitativas, como cuantitativas, se ha seguido un proceso de dimensionamiento muy parecido para los tres escenarios que consta de los puntos mostrados a continuación. Dicho proceso demuestra la corrección y el grado de detalle del dimensionado realizado en cada uno de los escenarios.
 1. Descripción exacta del funcionamiento de cada escenario para entender el funcionamiento de la tecnología y sus últimos avances.
 2. Explicación de los componentes claves a dimensionar dentro del escenario y sus funciones, con los esquemas más representativos.
 3. Lista de ventajas e inconvenientes que muestra, a priori, cada una de las combinaciones elegidas.
 4. Dimensionado de los equipos más importantes que formarán parte de la instalación conforme a lo establecido en el RITE y expertos en la materia. En la mayoría de los casos se trata de umbrales máximos y mínimos de potencia útil que deben ser capaces de transmitir
 5. Búsqueda de posibles empresas y fabricantes de equipos y aparatos que cumplan con el dimensionamiento a través de Internet.
 6. Visita de los expertos enviados por las empresas contactadas para corroborar la corrección del dimensionamiento y ofrecer presupuestos

íntegros que incluyen, aparte de los equipos más importantes, todos los accesorios necesarios en cualquier instalación y que no han sido cubiertos durante este TFM.

7. Elección del presupuesto (o combinación de ellos) más adecuado en cada escenario, ya sea por temas económicos o de similitud con el dimensionado realizado en este trabajo.
8. Resumen de la elección, explicando y detallando, por un lado, los componentes y configuraciones exactas dentro de la vivienda objeto de estudios y, por el otro, el presupuesto exacto, el cual se puede encontrar en el Documento 2 de este trabajo.
9. Realización de los perfiles demanda esperada en cada escenario utilizando los datos exactos de los componentes. Estos datos han sido utilizados, tanto para el dimensionamiento fotovoltaico, como para el cálculo de los descuentos de flujos de caja.

6.1.2. HITOS DESDE EL PUNTO DE VISTA FOTOVOLTAICO

De manera análoga a lo realizado en el apartado de climatización, para la parte fotovoltaica también se establecieron dos hitos que debían marcar el desarrollo y el dimensionamiento de cada escenario.

- **Estado del arte y demostración de la importancia de la energía FV:** En el marco de la energía fotovoltaica, el apartado 4.1 introduce y contextualiza de manera extensa este tipo de energía hoy en día. En primer lugar, se define y se explica su funcionamiento. Posteriormente, se demuestra su importancia y su creciente repercusión, tanto a nivel nacional, como internacional. Por último, se expone una lista de pros y contras de esta tecnología en la se ve claramente como sus beneficios superan de manera sobrada sus desventajas.
- **Estudiar viabilidad y asegurar ahorro.** Aparte de haberse realizado un estudio de las características del tejado en cuestión de inclinación, orientación y adecuación para albergar una instalación solar fotovoltaica, se ha recibido la visita por parte de expertos que así lo han ratificado. Con toda esta información, aplicando la metodología del IDAE para el cálculo de instalaciones conectadas a red y obteniendo datos de irradiación catalogados por la Unión Europea (PVGIS), se ha realizado el dimensionado de cada uno de los escenarios. Además, dicho dimensionamiento se ha optimizado en base a asegurar la máxima rentabilidad futura en cada caso, minimizando el gasto eléctrico en relación con la inversión realizada. De este modo, los resultados muestran que el hecho de poner placas solares es muy rentable en todos los escenarios, consiguiendo paybacks de 3 años y TIRs superiores al 30% en todos los escenarios. De hecho, sería rentable incluso para la vivienda actual en caso de que se decidiera no realizar cambios en la parte de climatización.

6.1.3. OBJETIVOS MEDIBLES

Una vez alcanzados los hitos en cada una de las áreas de trabajo de este TFM, es decir, una vez dimensionada la parte de climatización y unida con la parte de fotovoltaica, el único paso que quedaba era unir cada escenario con las medidas obtenidas durante el TFG (la parte de aislamientos fundamentalmente) y completar los presupuestos totales de cada escenario para poder llevar a cabo los cálculos financieros y de rentabilidad de cada escenario. Con estos pasos, se completaban los siguientes objetivos:

- **Soluciones íntegras para la vivienda:** El objetivo era tener claramente una serie de soluciones íntegras para la vivienda en la que hubiese KPIs muy claros a los que atenerse en caso de seguir adelante con cualquiera de ellos. Pues bien, en el capítulo 5 se resume y analiza, tanto individual, como comparativamente los tres escenarios propuestos para la vivienda. Este capítulo sirve a modo de resumen y análisis de lo realizado en cada escenario, de manera que en cada uno de ellos se sabe exactamente la obra a realizar, los proveedores, las características y presupuestos de los equipos a instalar, las previsiones energéticas y las previsiones financieras. Por tanto, y en consonancia con la Tabla 69, donde se resumen los KPIs más importantes, se cumple con el objetivo de crear una serie de soluciones íntegras, realizables y que aseguran el confort y el ahorro en consonancia con las nuevas tecnologías y con el desarrollo sostenible.

Tabla 69. Resumen de los tres escenarios. (Fuente: Elaboración propia)

	Escenario I	Escenario II	Escenario III
<i>Nombre del escenario</i>	Aerotermia con suelo radiante	Biomasa con radiadores y aerotermia por conductos	Geotermia vertical con radiadores
<i>Instalación FV</i>	28 módulos	23 módulos	26 módulos
<i>Presupuesto</i>	110.743,97 €	96.868,13 €	102.108,70 €
<i>Ahorro energético (€)</i>	71,98%	51,22%	74,55%
<i>Coste normalizado</i>	88,67 €/MWh	98,90 €/MWh	80,39 €/MWh
<i>TIR Inversión</i>	8,8%	6,3%	9,9%

- **Decisión asegurando un ahorro energético superior al 20%:** Aunque cualquiera de los escenarios es realizable y supone ahorro y confort al mismo tiempo, la realidad es que hay uno de los escenarios que resalta por encima del resto. El **Escenario III** es el escenario que mejores rendimientos muestra, mostrando un ahorro de aproximadamente un 75%, que está muy por encima de las expectativas. De este modo, esta será la solución integral elegida para el chalé de Montepíncipe.

6.1.4. REFLEXIÓN FINAL

La solución elegida consiste en implantar un sistema de geotermia vertical con cuatro perforaciones de 120 m unido a un circuito de tuberías con agua capaz de aportar calefacción, ACS y refrigeración al mismo tiempo. Además, se introducirán una serie de cambios en los aislamientos de la vivienda y una instalación de paneles solares fotovoltaicos en el tejado de la vivienda compuesta por 26 módulos y 2 inversores. La parte fotovoltaica es bastante parecida en todos los escenarios, siendo en todos los casos muy rentable y recomendable para la vivienda, incluso aunque no se llevarán a cabo las medidas en climatización. Por tanto, la decisión más importante y que movía la aguja en este caso era la parte de climatización.

Aunque a priori la solución geotérmica se caracterizaba por ser la más eficiente y limpia en cuestiones de climatización de viviendas unifamiliares, la inversión a realizar y las características del terreno suelen ser los inconvenientes más repetidos a la hora de decantarse por este tipo de tecnología. No obstante, la vivienda objeto de estudio tiene las características ideales para albergar este tipo de climatización por tres razones principalmente:

- **Tipo de terreno.** Debido a la gran cantidad de espacio que existe en la vivienda y a los estudios geológicos realizados, la vivienda es ideal para albergar un sistema de geotermia vertical, que es la solución más eficiente de todo el mercado.
- **Contexto de la vivienda:** Aunque se trata de una solución íntegra muy cara, se trata de una inversión necesaria debido a que no solo se trata de un tema de ahorro, sino de confort y necesidad. Al fin y al cabo, la refrigeración, los aislamientos y los cambios puntuales en las instalaciones por temas de antigüedad son un gasto, más que una inversión. Es por esta razón por la que cualquiera de las opciones supone un desembolso de dinero muy grande. De este modo, las diferencias porcentuales de precio entre los diferentes escenarios no son demasiado significativas, dándole aún más importancia al ahorro energético.
- **Características del sistema de climatización existente:** La configuración actual con radiadores hace que cualquier tecnología que requiera de suelo radiante sea demasiado cara para la vivienda, por tanto, la opción de aerotermia está descartada. Por otro lado, el hecho de que no haya una preinstalación de aire acondicionado hace que la opción de biomasa también requiera de mucho Capex. De esta manera, la geotermia es la opción ideal, dado que es capaz de casar con los radiadores y aportar calor y frío a través de ellos.

En resumidas cuentas, se juntan una serie de ingredientes que hacen que el Escenario III sea el ideal para la vivienda. Aunque no se trata del escenario más barato, las diferencias no son significativas (tampoco es el más caro) y, por lo demás, se trata del escenario que más ahorro energético como económico genera.

6.2. LINEAS FUTURAS

Con lo realizado en este trabajo se puede dar por concluido el proyecto de revitalización energética que empezaba dos años atrás. Mediante el diseño de la solución íntegra y la elección de la geotermia con radiadores y placas solares fotovoltaicas se ha conseguido revitalizar energéticamente el chalé ubicado en la urbanización de Montepríncipe.

Una de las motivaciones con las que nacía este proyecto de índole energética era que se pudiera producir una revalorización importante de la vivienda. Con la revitalización energética de la vivienda, indudablemente, se ayuda a la consecución de este objetivo. No obstante, para contribuir más con esta meta, también hay otros aspectos de la vivienda en los que se pueden seguir indagando, bien porque se trata de instalaciones que están anticuadas, o bien porque pueden aportarle un valor añadido a la vivienda. De este modo, si hubiese que continuar con cambios ingenieriles en la vivienda, habría tres áreas de actuación principalmente:

- **Instalación de agua:** Tal y como se contaba en la introducción a las diferentes fuentes de gasto en la vivienda, aunque no se trata de un tema energético, el consumo de agua en la vivienda es muy elevado. Aprovechando que se va a realizar un cambio bastante grande en la red de agua caliente, sería interesante analizar los problemas que tiene la instalación de agua corriente. Posibles áreas de actuación serían el cambio de los elementos terminales (cisternas, duchas, etc), que están muy anticuados y consumen demasiada agua; revisión del sistema de regado en la vivienda ya que, debido a la gran cantidad de zonas verdes que hay, es una parte muy importante; y por último se podrían revisar ciertos ciclos de funcionamiento de la piscina.
- **Estructura:** Aunque se trata de un tema completamente diferente, es cierto que la vivienda en algunos puntos muestra importantes signos de antigüedad. De este modo, sería interesante realizar un proyecto de revisión de las cargas en la estructura y del estado de los materiales de construcción. Dado que hay que llevar a cabo cambios en muchas áreas instalaciones, es posible que salga más rentable deruir y diseñar de cero algunas partes de la estructura.
- **Aprovechamiento del espacio:** La parcela de la vivienda objeto de estudio cuenta con casi 5 hectáreas de terreno aprovechable, de las cuales, en este momento, la mitad están siendo desaprovechadas. Sería interesante realizar un estudio y plantear alternativas acerca de diferentes usos que se le podría dar a toda esa área desaprovechada. Entre diferentes ideas que han ido surgiendo a lo largo de los años las más representativas serían el diseño de una pista de pádel cubierta a la que también se le podría instalar energía fotovoltaica, o la introducción de un huerto ecológica

7. BIBLIOGRAFÍA

- [ABEV22] Asociación Española de la Biomasa (ABEVIOM). “Pellets 2022. Informe estadístico sobre producción y consumo de pellets en España”. Diciembre 2022.
[Informe-estadistico-Pellets-AVEBIOM-2022.pdf](#)
- [ARNA22] Arnabat I. “Plan Renove de Calderas de Gas Natural”. Calefacción. Calderas. Caloryfrio.com. Septiembre 2022.
[Plan Renove de Calderas de gas natural 2023 ¿Cómo pedir ayudas? - caloryfrio.com](#)
- [ARNA23] Arnabat I. “Calderas de biomasa y pellets. Tipos, precios, ventajas e instalación”. Calefacción. Calderas. Caloryfrio.com. Marzo 2023.
[Calderas de biomasa ▷ La calefacción más ecológica - Caloryfrio.com](#)
- [ARNA23] Arnabat I. “Precio del pellet en España 2023. Bajan los precios el primer trimestre”. Energías renovables. Biomasa. Caloryfrio.com. Abril 2023.
[Precio del pellet en España 2023 ▷ bajan los precios el primer trimestre - caloryfrio.com](#)
- [BARR22] Barrero A. “Estos son los diez países con más potencia solar fotovoltaica instalada” Fotovoltaica. Energías Renovables. Agosto 2022.
[Fotovoltaica - Estos son los diez países con más potencia solar fotovoltaica instalada - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. \(energias-renovables.com\)](#)
- [BOCM23] Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Agricultura. Orden 986/2023. “Concesión de ayudas en el Plan Renove de Calderas de la Comunidad de Madrid”. Abril 2023.
[BOCM la Orden 986/2023](#)
- [BOE07] Boletín Oficial del Estado (BOE). Real Decreto 1027/2007. “Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios”. Ministerio de la Presidencia. Agosto 2007.
[Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. \(boe.es\)](#)
- [BOE13] Boletín Oficial del Estado (BOE). Real Decreto 238/2013. “Modificaciones al Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios”. Abril 2013.
[Disposición 3905 del BOE núm. 89 de 2013](#)

- [CABA23] Caballero A. “Energía Solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas”. Climate Consulting. Selectra. Junio 23.
[Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas \(selectra.com\)](https://selectra.com)
- [CARBO23] Carbonell M. ¿Son rentables las baterías solares? Bomba de Calor. Geotermia. HogarSense. Febrero de 2023.
[Rentabilidad de las baterías solares \(hogarsense.es\)](https://hogarsense.es)
- [CARBO23] Carbonell M. ¿Qué es y cómo funciona la geotermia? Fotovoltaica. Componentes fotovoltaicos. HogarSense. Agosto de 2023.
[Geotermia \(hogarsense.es\)](https://hogarsense.es)
- [COMI19] Comisión Europea. Diario Oficial de la Unión Europea. “REGLAMENTO (UE) 2019/1781”. Octubre 2019
- [CONS20] Construye 2020 +. “Curso de Instalaciones de Geotermia”. Horizon 2020 Research & Innovation framework Program. Unión Europea. 2020.
[Training-manual_Geothermal-installations.pdf \(construye2020plus.eu\)](https://construye2020plus.eu)
- [CRUZ20] De la Cruz, W. C., & Boza, A. A. “Caracterización de radiación solar directa y difusa en condiciones climáticas del Valle del Mantaro”. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 23(46), 87-94.
- [DOMI22] Domínguez M. “Comparación: ¿aire acondicionado Split o por conductos?”. Aire Acondicionado. Caloryfrío.com. Febrero 2022.
[Comparación: ¿aire acondicionado split o por conductos? - caloryfrio.com](https://caloryfrio.com)
- [DOUE18] Diario Oficial de la Unión Europea. DIRECTIVA (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (versión refundida). Diciembre 2018.
[DIRECTIVA \(UE\) 2018/ 2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO - de 11 de diciembre de 2018 - relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables \(boe.es\)](https://boe.es)
- [DUNC20] Duncan Macdonald J. “La fotovoltaica en el ámbito urbano. Estado del Arte”. Universidad Politécnica de Cataluña. Centro de Política de Suelo y Valoraciones. Enero 2020.
[FV-estado-de-arte-Macdonald \(upc.edu\)](https://upc.edu)
- [ENER19] EnergaNova. “Aeroterminia: Ventajas e inconvenientes”. Renovables España. 2019.
[Aeroterminia: ventajas e inconvenientes \(energanova.es\)](https://energanova.es)

- [ESPI22] Espiñeira P. “Bomba de calor hoy. Funcionamiento e implantación para calefacción y ACS”. Calefacción. Bomba de calor. Caloryfrio.com. Julio 2022. [Bomba de calor hoy ▷ Funcionamiento e implantación para calefacción y ACS - caloryfrio.com](https://caloryfrio.com)
- [FERN22] Fernández Molina M. “Aclarando la factura de la luz: ¿por qué aparece una compensación por el tope del gas? ¿Quién la paga?”. Economía. Energía. Consumo. Electricidad. Huffpost. Agosto 2022. [Aclarando la factura de la luz: ¿por qué aparece una compensación por el tope al gas? ¿Quién la paga? \(huffingtonpost.es\)](https://huffingtonpost.es)
- [FOME19] Ministerio de Fomento; Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda; Secretaría General de Vivienda; Dirección general de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Documento Básico HE “Ahorro de Energía”. Código Técnico de Edificación. España. Diciembre 2019. [DccHE.pdf \(codigotecnico.org\)](https://codigotecnico.org)
- [FOME19] Ministerio de Fomento; Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda; Secretaría General de Vivienda; Dirección general de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Documento Básico HS “Salubridad”. Código Técnico de Edificación. España. Diciembre 2019. [DBHS.pdf \(codigotecnico.org\)](https://codigotecnico.org)
- [GARCI98] García C. “Proyecto de aire acondicionado para edificio de oficinas”. Tesis de Fin de Grado. 1998. [Proyecto de aire acondicionado para edificio de oficinas \(comillas.edu\)](https://comillas.edu)
- [GAZQ13] Gázquez J.C. “Diseño de la Instalación de calefacción de una vivienda unifamiliar por suelo radiante” Tesis de Fin de Grado Ingeniería Mecánica. Universidad Politécnica de Valencia. Octubre 2013. [Diseño de la instalación de calefacción de una vivienda unifamiliar por suelo radiante \(upv.es\)](https://upv.es)
- [GUTI21] Gutiérrez F. “Propuesta de instalación geotérmica somera a partir de bombas de calor para la climatización de espacios en la Universidad EIA.” Tesis de Fin de Grado. Universidad EIA. Ingeniería Geológica. 2021. [FORMULACIÓN DE PROYECTOS \(eia.edu.co\)](https://eia.edu.co)
- [HARO23] Haro I. “Tarifas de compensación de excedentes para placas solares” Autoconsumo. Selectra. Agosto 2023. [Compensación de excedentes de autoconsumo 2023: guía y uso \(selectra.es\)](https://selectra.es)
- [HARO23] Haro I. “Subvenciones de placas solares” Autoconsumo. Normativa. Selectra. Septiembre 2023. [Subvención placas solares 2023: último año para solicitarlas \(selectra.es\)](https://selectra.es)

- [HERN11] Hernández, S. D. “La Energía Solar Fotovoltaica”. 2011
- [HERR21] Herrero M. “¿Qué es COP y EER? Coeficientes de rendimiento y Eficiencia Energética en refrigeración y bombas de calor”. Calefacción. Bomba de calor. Caloryfrio.com. Abril 2021.
[¿Qué es COP y EER? Coeficientes de rendimiento y Eficiencia Energética en refrigeración y bomba de calor - caloryfrio.com](http://caloryfrio.com)
- [HOLA21] Hola R. “¿En qué consiste el seguimiento del punto de máxima potencia: MPPT?” AC Fotovoltaica. Julio 2021.
[¿Conoces qué es el punto máximo de potencia \(MPPT\)? | Placas Solares \(acfotovoltaica.es\)](http://acfotovoltaica.es)
- [IBER23] Iberdrola. “Células fotovoltaicas: conoce su evolución, sus diferentes tipos y las últimas innovaciones”. Innovación. 2023.
[Células fotovoltaicas, generadoras de electricidad a partir de la luz - Iberdrola](http://iberdrola.com)
- [ICAI21] Escuela Pontificia de Comillas ICAI. Asignatura de Análisis de Costes y Finanzas. Departamento de Organización. Asignatura correspondiente al curso 2021/2022.
- [ICAI21] Escuela Pontificia de Comillas ICAI. Asignatura de Instalaciones Industriales. Departamento Mecánico y Eléctrico. Asignatura correspondiente al curso 2021/2022.
- [ICAI22] Escuela Pontificia de Comillas ICAI. Asignatura de Ingeniería Energética. Departamento Mecánico y Eléctrico. Asignatura correspondiente al curso 2021/2022.
- [IDAE07] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización. “Comentarios al Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios”. Madrid. Noviembre 2007.
[Comentarios RITE 2007 Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios \(idae.es\)](http://idae.es)
- [IDAE09] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red”. Madrid. Febrero 2009.
[F:\PliegoCT\PCT-A30.wpd \(idae.es\)](http://idae.es)
- [IDAE09] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización. “Guía Técnica de Instalaciones de biomasa térmica en edificios”. Madrid. Mayo 2009.
[documentos_10920 Instalaciones Biomasa Term edificios 2009 b6fe691f.pdf \(idae.es\)](http://idae.es)

- [IDAE10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización. “Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central”. Madrid. Junio 2010.
[documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf \(idae.es\)](#)
- [IDAE11] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”. Madrid. Abril 2011.
[documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf \(idae.es\)](#)
- [IDAE12] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización. “Guía Técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado” Madrid. Junio 2012.
[documentos_14_guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1a7cff37.pdf \(idae.es\)](#)
- [INE23] Instituto Nacional de Estadística (INE) “Índice de Precios de Consumo (IPC). Base 2021” Septiembre 2023.
[Microsoft Word - NP IPC agosto 2023 vF.docx \(ine.es\)](#)
- [IREN21] International Renewable Energy Agency (IRENA). “Solar Energy” Energy Transition. Technology. 2021.
[Solar energy \(irena.org\)](#)
- [ITUR22] Iturbe M. “Suelo radiante o radiadores ¿qué es mejor?” Calefacción. Suelo y techo radiante. Caloryfrio.com. Febrero 2022.
[Suelo radiante o radiadores ¿qué es mejor? - caloryfrio.com](#)
- [JAIR22] Jairo J. “Proyecto de diseño de un sistema de aerotermia para climatización y ACS en una residencia universitaria”. Tesis de Fin de Máster. Energías Renovables. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Junio de 2022.
[Proyecto de diseño de un sistema de aerotermia para climatización y ACS en una residencia universitaria \(upct.es\)](#)
- [MART22] Martín O. “Sistemas de climatización: tipos y funcionamiento” Instalaciones. Climatización. Selectra. Preciogas. Agosto 2022.
<https://preciogas.com/instalaciones/climatizacion>
- [MART23] Martín O. “Calderas de biomasa: tipos, precios y ventajas” Instalaciones. Climatización. Selectra. Preciogas. Abril 2023.
<https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/calderas/biomasa>

- [MART23] Martín O. “Geotermia o Aerotermia. ¿Cuál es más rentable?” Instalaciones. Climatización. Selectra. Preciogas. Julio 2023.
<https://preciogas.com/instalaciones/aerotermia/o-geotermia>
- [MART23] Martín O. “Aire acondicionado por conductos: consumo y frigorías”. Instalaciones. Equipamiento. Climatización. Selectra. Preciogas. Agosto 2023.
<https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/aire-acondicionado/por-conductos>
- [MART23] Martín O. “Suelo Radiante: precio, instalación y opiniones”. Instalaciones. Equipamiento. Climatización. Selectra. Preciogas. Septiembre 2023.
<https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/suelo-radiante>
- [MART23] Martín O. “¿Qué es la aerotermia? Precio de su instalación”. Instalaciones. Equipamiento. Climatización. Selectra. Preciogas. Septiembre 2023.
<https://preciogas.com/instalaciones/aerotermia>
- [MTNZ23] Martínez A. “Precio del gas natural: Evolución en España y coste del m³”. Energía. Selectra. Julio 2023
[Precio del gas hoy: Evolución y coste del kWh en 2023 \(selectra.es\)](https://selectra.es/precio-del-gas-hoy-evolucion-y-coste-del-kwh-en-2023)
- [MEDE21] Medela J. “Todo lo que necesitas saber sobre las células solares”. Cambio Energético. Diciembre 2021
[Todo lo que necesitas saber sobre CÉLULAS SOLARES fotovoltaicas \(cambioenergetico.com\)](https://cambioenergetico.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-celulas-solares-fotovoltaicas)
- [MORA23] Morales M. “2.0 TD: La tarifa de acceso que sustituye a la 2,0 y 2.1”. Suministro de luz. Selectra. Preciogas. Septiembre 2023.
[Tarifa 2.0 TD: características, precio y principales novedades \(preciogas.com\)](https://preciogas.com/tarifa-2-0-tarifa-de-acceso)
- [OCU22] OCU. “Cómo calcular la potencia del aire acondicionado”. Vivienda y energía: aire acondicionado. Julio 2022.
[Cómo calcular la potencia del aire acondicionado | OCU](https://www.ocu.es/como-calcular-la-potencia-del-aire-acondicionado)
- [OJED22] Ojeda G. “¿Qué inversor elegir para tu instalación de placas solares?” Autoconsumo. Componentes. Selectra. Diciembre 2022.
[Qué es un inversor solar: Tipos, Precios, Marcas y Tiendas \(selectra.es\)](https://selectra.es/que-es-un-inversor-solar-tipos-precios-marcas-y-tiendas)
- [PEÑA23] Peña A.B. “Bomba de calor geotérmica para calefacción y refrigeración. ¿Cómo funciona?” Energías Renovables. Geotermia. Caloryfrío.com. Enero 2023.
[Bomba de calor geotérmica para calefacción y refrigeración ¿Cómo funciona? - caloryfrio.com](https://caloryfrio.com/bomba-de-calor-geotermica-para-calefaccion-y-refrigeracion-como-funciona)

- [PVG123] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Datos de Irradiación. European Commission
[JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission \(europa.eu\)](#)
- [REE23] Red Eléctrica Española. “Informe Eléctrico Español en el año 2022”. Marzo 2023.
[Informe del Sistema Eléctrico 2022. \(sistemaelectrico-ree.es\)](#)
- [REE23] Red Eléctrica Española. “Informe Eléctrico Español en el año 2022. Informe resumen de energías renovables”. Marzo 2023.
[Informe del Sistema Eléctrico: Informe resumen de energías renovables \(sistemaelectrico-ree.es\)](#)
- [RICO17] Rico J. “Cambio de gas natural por biomasa: una tendencia, no una excepción” Bioenergía. Energías Renovables. Febrero 2017.
[Bioenergía - Cambio de gas natural por biomasa: una tendencia, no una excepción - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. \(energias-renovables.com\)](#)
- [ROBL22] Robledo M. “Depósito de Inercia: ¿Qué es? ¿Cuáles son sus ventajas?” Calefacción y ACS. E-eficiencia.
[Depósito de inercia: ¿Qué es? ¿Cuáles son sus ventajas? \(e-eficiencia.com\)](#)
- [ROSI20] Ros J.A. Análisis y estudio de la climatización y de la instalación de bombeo de agua caliente de una vivienda residencial. Tesis de Fin de Grado. Escuela Pontificia de Comillas ICAI. Diciembre 2020.
- [RODR22] Rodríguez E. “Instalaciones fotovoltaicas. Componentes, cálculo y diseño”. Mayo 2022.
[Regulador de Carga Solar: Calculos, Tipos, Funciones. \(areatecnologia.com\)](#)
- [SELE22] Selectra. Instalaciones. Calefacción. Sistemas de calefacción económicos para casas. Agosto 2022.
[Tipos de calefacción ¿Cuál es más Económica? Precios 2023 \(preciogas.com\)](#)

8. ANEXOS

ÍNDICE DEL ANEXO

8. ANEXOS.....	295
8.1. ANEXO I: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA VIVIENDA.....	296
8.1.1. PLANOS ORIGINALES.....	296
8.1.2. CROQUIS DE ELABORACIÓN PROPIA	300
8.1.3. IMÁGENES DEL ESTADO DE LA VIVIENDA.....	307
8.1.4. ESQUEMAS HIDRAÚLICOS REALIZADOS A LO LARGO DEL TFG 314	
8.2. ANEXO II: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA VIVIENDA.....	321
8.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS EXISTENTES.....	321
8.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS PROPUESTOS.....	328
8.3. ANEXO III. TABLAS, CÁLCULOS Y DOCUMENTOS DE INTERÉS... 345	
8.3.1. DOCUMENTOS DE INTERÉS.....	345
8.3.2. TABLAS Y GRÁFICOS DE INTERÉS	347
8.3.3. CÁLCULOS Y DEMOSTRACIONES DE INTERÉS	377
8.4. ANEXO IV: ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	380

8.1. ANEXO I: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA VIVIENDA

Este primer capítulo del anexo recogerá de manera íntegra todos los planos, croquis de elaboración propia, imágenes y esquemas que se rescataron o realizaron a lo largo del TFG y que sirven para que el lector tenga una imagen gráfica y visual de la vivienda, de sus instalaciones y de los componentes clave dentro de las instalaciones. Prácticamente todas las explicaciones que aparecen han sido sacadas de manera íntegra del TFG, solo que se han intentado resumir un poco más.

El contenido se dividirá en cuatro puntos diferentes. El primero de ellos recogerá los planos originales de la vivienda. En el segundo punto se recogerán los croquis de elaboración propia realizados durante el TFG a partir de los planos originales y las mediciones tomadas en la vivienda. En tercer lugar, se incluirán todas las imágenes de la vivienda que fueron incluidas en el TFG y que tienen interés explicativo para ver el estado del terreno, del interior de la vivienda, y de algunas de las instalaciones. Para terminar, se dedicará un punto a todos los esquemas hidráulicos que se realizaron, acompañados de los cálculos de metro de tubería de manera gráfica.

8.1.1. PLANOS ORIGINALES

En este primer punto se ilustran los planos originales de la vivienda terminados en septiembre de 1973 por el arquitecto D. Antonio Miranda Sánchez. Dichos planos se hicieron a mano en tamaño DIN A2 y han sido escaneados y recortados para ser incluidos en este trabajo. Se han incluido cuatro planos distintos, los cuales se explican brevemente a continuación y se ilustran posteriormente.

1. **Sótano** (Ilustración 123). Es el plano de la planta más baja. Dicho plano no es muy relevante porque en el sótano no hay estancias de interés para el trabajo.
2. **Primera planta** (Ilustración 124). El plano de esta parte de la vivienda refleja casi por completo la realidad actual de la vivienda. Solo se han realizado dos pequeños cambios desde entonces: en el salón y en la cocina. Dichos cambios se pueden apreciar en los croquis de la vivienda.
3. **Segunda planta** (Ilustración 125). Es el piso que más cambios ha sufrido. El pasillo se hizo un más largo y la mayoría de las habitaciones se modificaron por completo. Además, se incluyeron dos habitaciones, un despacho y un baño más que lo que muestran los planos originales.
4. **Vista en Planta del terreno** (Ilustración 126). Se muestra la ubicación de la casa dentro de la vivienda, así como el área total de parcela que es aproximadamente de 5.000 m². Actualmente, la casa cuenta con una piscina y con distintas zonas de jardines y de calzada.

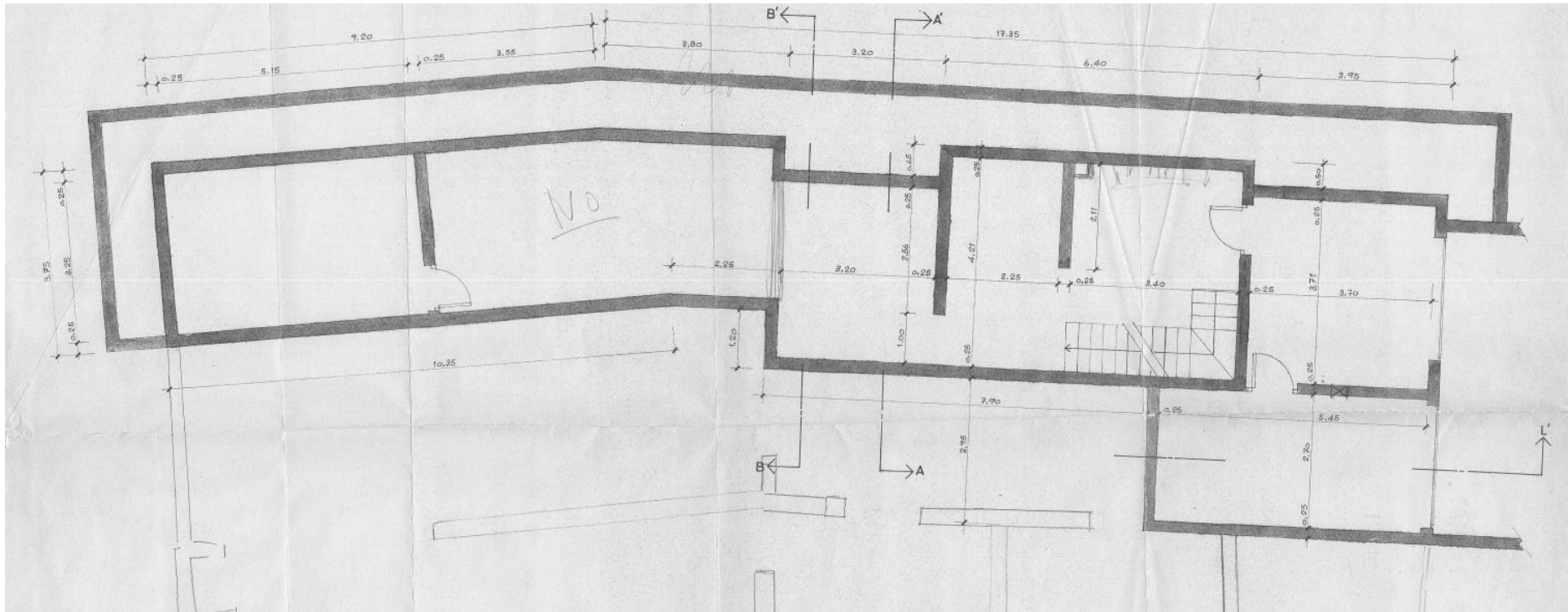


Ilustración 123. Imagen del plano original del Sótano. (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez)

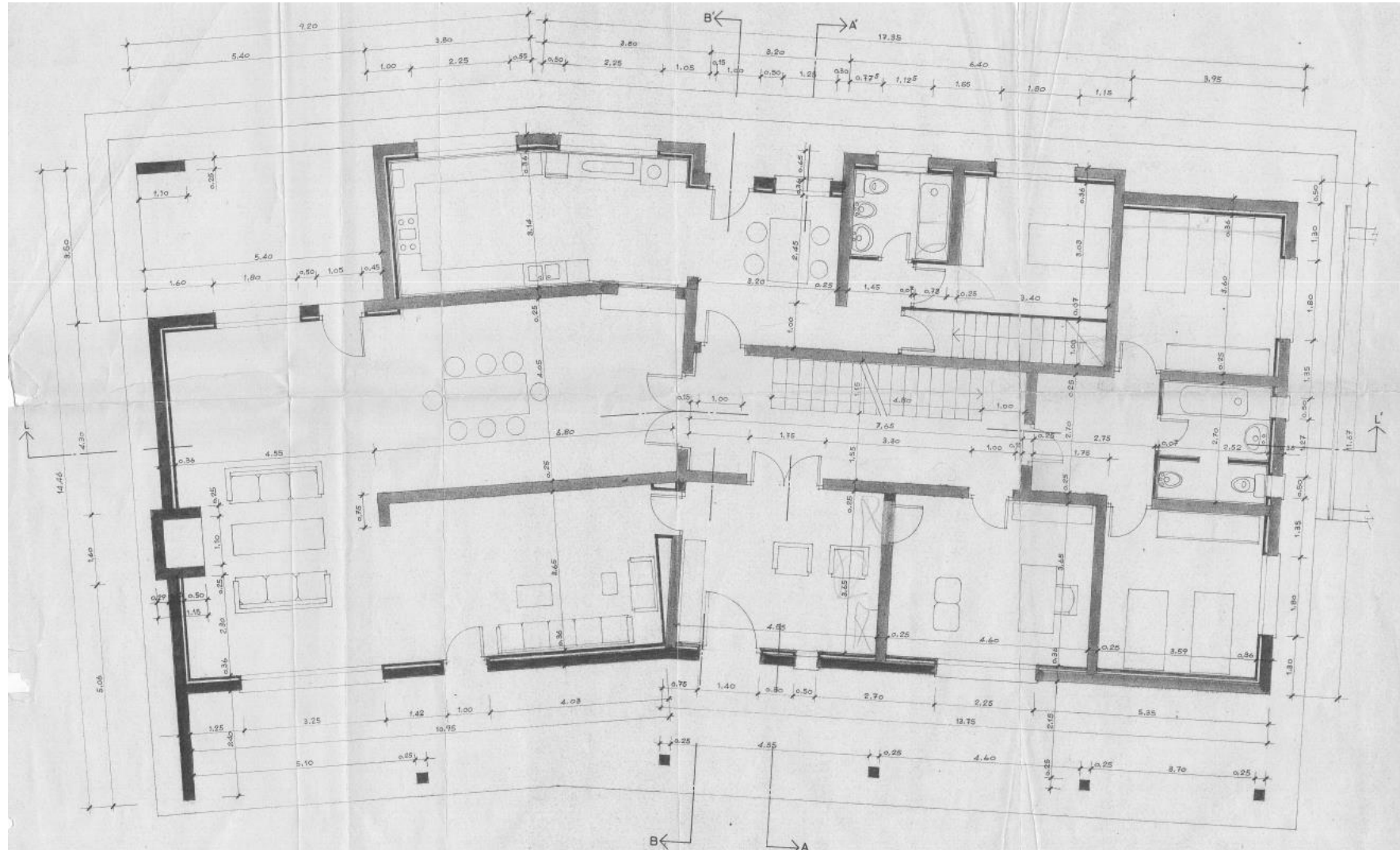


Ilustración 124. Imagen del plano original de la Primera Planta (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez)

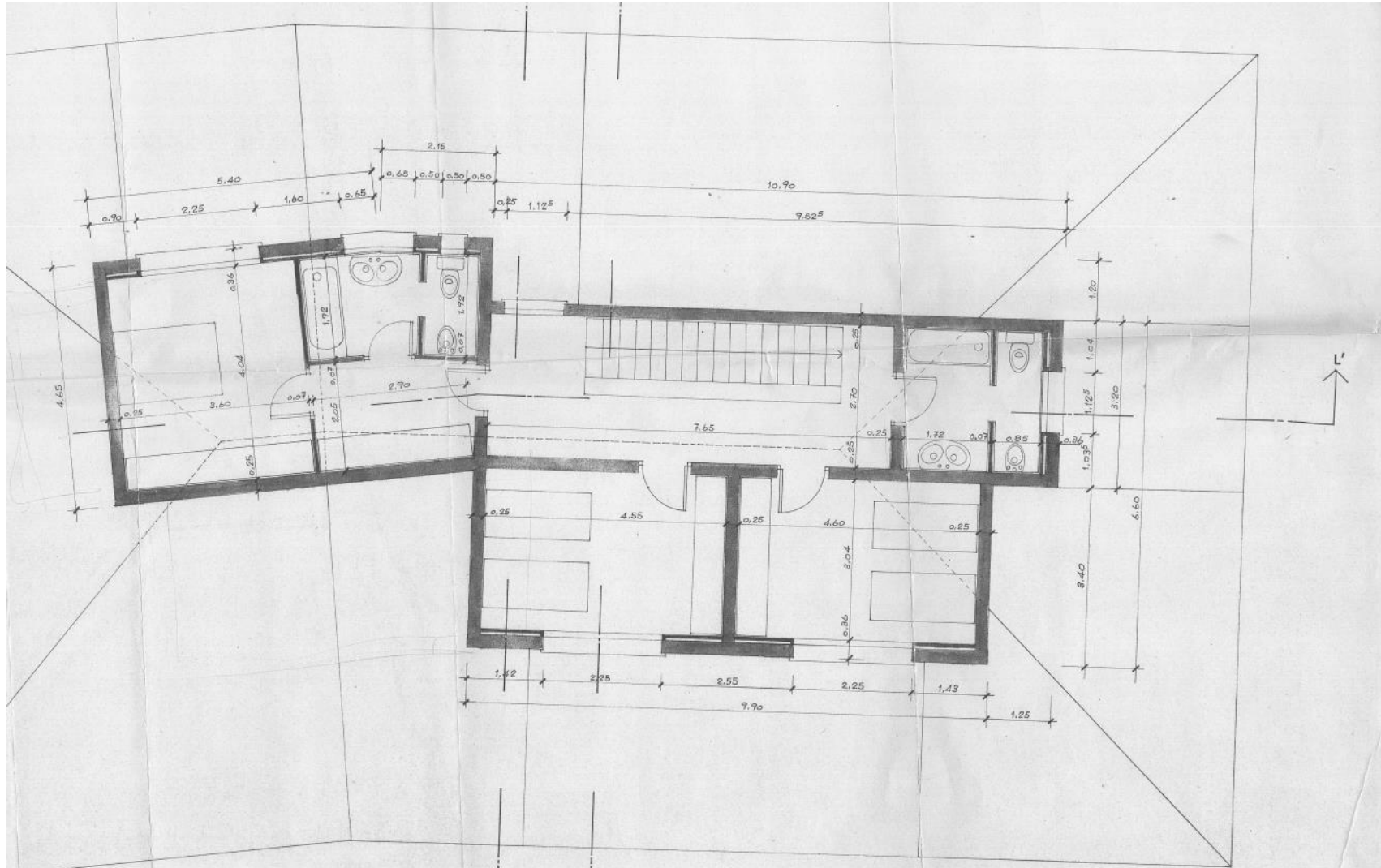


Ilustración 125. Imagen del plano original de la Segunda Planta (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez)

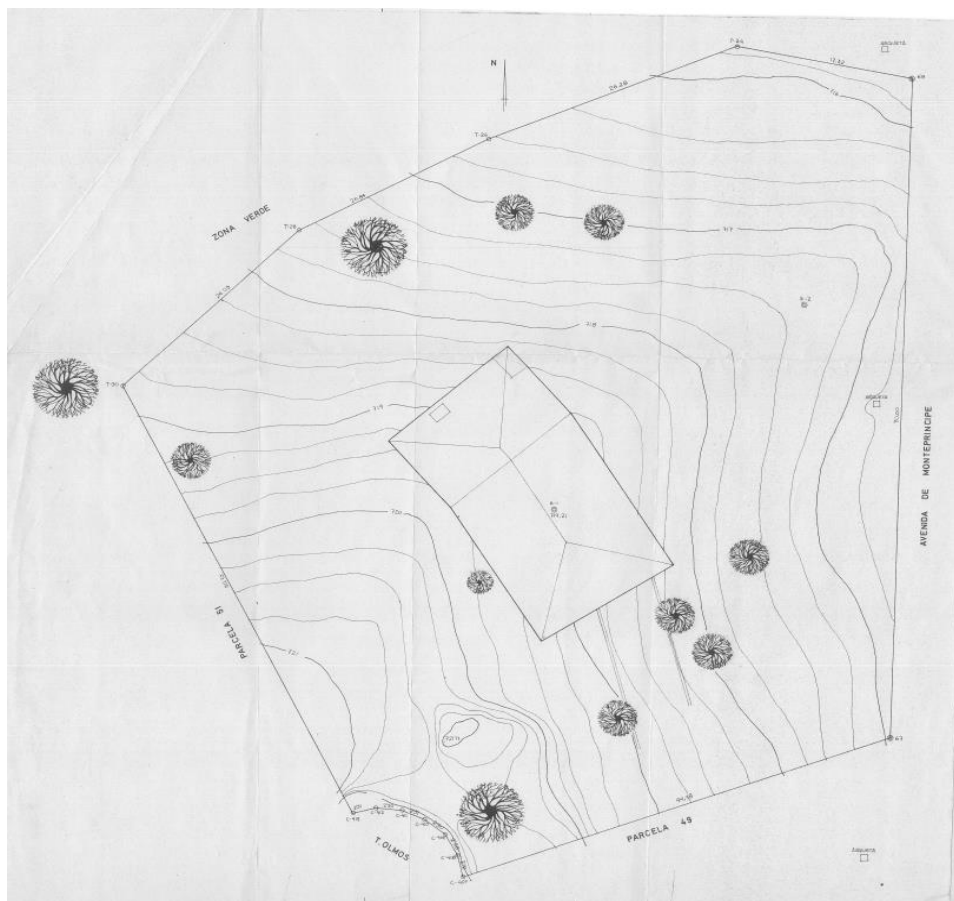
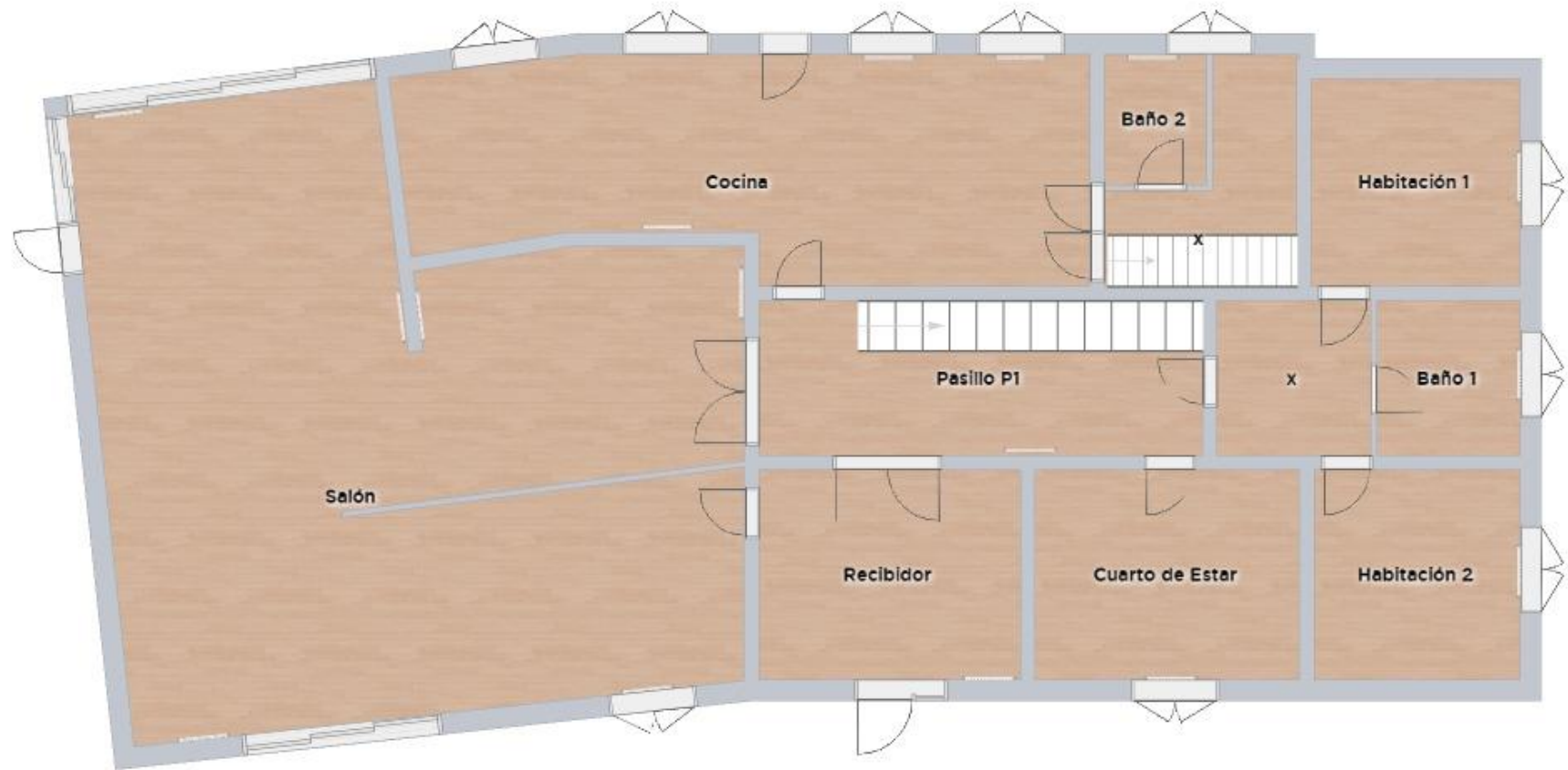


Ilustración 126. Imagen del plano original de la vista en planta del terreno. (Fuente: Planos originales realizados por D. Antonio Miranda Sánchez)

8.1.2. CROQUIS DE ELABORACIÓN PROPIA

Aunque el trabajo en cuestión no requería de unos planos completamente precisos, durante el TFG se decidió realizar unos croquis de elaboración propia que pudieran captar de manera más fácil y manejable la información contenida en los planos originales, junto con los cambios realizados a lo largo del tiempo. Como pretenden ser lo más útiles posibles, únicamente se han realizado los planos de la primera y de la segunda planta, que son los de más interés. Para cada una de las plantas se han sacado planos, tanto en 2D, como en 3D, que incluyen los nombres de las estancias y los elementos de mayor interés para el trabajo: los radiadores, las puertas y los ventanales existentes.

Los planos fueron realizados en la herramienta online *homebyme*, que permitía replicar los planos de una forma bastante precisa y rápida. Los croquis realizados mediante esta herramienta se han basado completamente en los planos originales y en medidas tomadas en la vivienda. Se ha intentado que tanto la réplica, como las modificaciones fueran lo más parecidas a la realidad posibles. A continuación, se insertan en las ilustraciones de ambos planos. La primera imagen (Ilustración 127) hace referencia al croquis de la primera planta. Posteriormente se incluyen dos imágenes en 3D de la primera planta desde diferentes ángulos. El proceso llevado a cabo con las ilustraciones de la segunda planta es exactamente el mismo.



Ilustraci3n 127. Croquis de la Primera Planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)



Ilustración 128. Imagen 1 del croquis en 3D de la primera planta. Referencia situada en el recibidor. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)



Ilustración 129. Imagen 2 del croquis en 3D de la primera planta. Referencia situada en las escaleras del pasillo (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)



Ilustración 130. Croquis de la Segunda Planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)



Ilustración 131. Imagen 1 del croquis en 3D de la segunda planta. Referencia localizada en la habitación 4. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)



Ilustración 132. Imagen 2 del croquis en 3D de la segunda planta. Referencia localizada en la habitación 7. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

8.1.3. IMÁGENES DEL ESTADO DE LA VIVIENDA

El objetivo de este apartado es que el lector de este TFM se familiarice con el aspecto que tiene la vivienda. De este modo, en primer lugar, se aportarán imágenes generales sobre el aspecto de la parcela y de diferentes vistas de la vivienda desde el exterior. Posteriormente, se adjuntarán ilustraciones sobre algunos aspectos de interés de la vivienda, como son el estado de las ventanas, de las tuberías, de los radiadores, etc. Las imágenes sobre la maquinaria concreta se adjuntarán en el siguiente punto del anexo, en el que se especifican las características de todos los aparatos y toda la maquinaria. Casi todas las fotografías que aparecerán son de elaboración propia, aunque la mayoría provendrán de las diferentes imágenes que se fueron adjuntando a lo largo del TFG.

8.1.3.1. Imágenes del terreno y del exterior de la vivienda



*Ilustración 133. Vista en Planta de la casa con los principales puntos del sistema hidráulico.
(Fuente: Google Earth)*



Ilustración 134. Zonas verdes de la parcela. (Fuente: Elaboración Propia)



Ilustración 135. Zonas del terreno sin aprovechar. (Fuente: Elaboración Propia)



Ilustración 136. La piscina (14x6m). (Fuente: Elaboración propia)

Javier Ros Martín
ANEXOS



Ilustración 137. Imágenes exteriores de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

8.1.3.2. *Imágenes del interior de la vivienda y de sus instalaciones de interés*



Ilustración 138. Imagen exterior del cuarto de calderas. En la parte derecha de la fotografía aparecen los antiguos depósitos de gasoil. (Fuente: Elaboración propia)

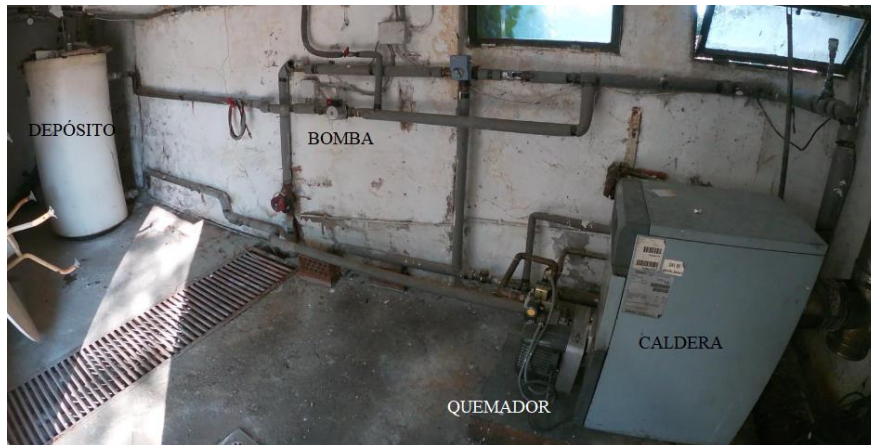


Ilustración 139. El cuarto de calderas por dentro. (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 140. Entrada de la red de agua caliente en la vivienda desde el cuarto de calderas. (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 141. Estado de las tuberías de cobre. Algunos puntos de la instalación presentan alto grado de corrosión. (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 142. Radiadores de hierro fundido. (Fuente:Elaboración propia)



Ilustración 143. Comparativa de una ventana antigua con una nueva. (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 144. Perfil de madera perjudicado. (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 145. Persianas de plástico. (Fuente: Elaboración propia)



Ilustración 146. Paredes exteriores gruesas de ladrillo. (Fuente: Elaboración propia)

8.1.4. ESQUEMAS HIDRÁULICOS REALIZADOS A LO LARGO DEL TFG

En este punto se van a aprovechar todos los esquemas realizados durante el TFG sobre los circuitos de la red de agua caliente y sus principales componentes. Además, también se recuperarán los cálculos de los metros de tubería a partir de los planos originales, los cuales contienen medidas reales. Dado que no se dispone de ningún plano que contenga el avance de las tuberías por dentro de la casa, los cálculos relativos a los metros de tubería de la instalación de calefacción y de la red de agua caliente sanitaria se deben realizar de manera aproximada a partir de los planos. Este apartado del anexo será fundamental para el dimensionamiento de la nueva instalación de tuberías, ya que será reemplazado por completo.

8.1.4.1. Esquemas hidráulicos de la red de agua caliente

Todos los esquemas que se muestran a continuación fueron realizados en la herramienta de cálculos hidráulicos denominada *Epanet* durante la realización del TFG. Básicamente se muestra las tres subredes en las que se dividía la red de agua caliente:

- **Red caldera-depósito** (Ilustración 147): Es un circuito muy pequeño (unos 9 metros de tubería) y completamente cerrado que une la caldera de gas con el interacumulador de agua caliente sanitaria. Es el circuito base de toda la instalación de agua caliente, dado que de él nacen el circuito de calefacción y el circuito de ACS.
- **Red de calefacción** (Ilustración 148): Se trata de un sistema cerrado que nace y muere en la caldera de gas. Se trata de un sistema bitubo formado por un total de 25 radiadores distribuidos en dos plantas diferentes. Hay una bomba circuladora encargada de hacer llegar el agua caliente a cada uno de los radiadores, los cuales son capaces de funcionar por separado.
- **Red de ACS** (Ilustración 149): El depósito interacumulador de agua de 300 litros de capacidad situado en el cuarto de calderas es el punto de partida y el punto final de este circuito. Las 19 válvulas del esquema representan todos los elementos terminales de esta red: lavabos (1), bidés (2), duchas (3) y fregaderos (4) que permiten el uso y disfrute del agua caliente sanitaria en la vivienda. La red cuenta con un circuito de recirculación en paralelo.

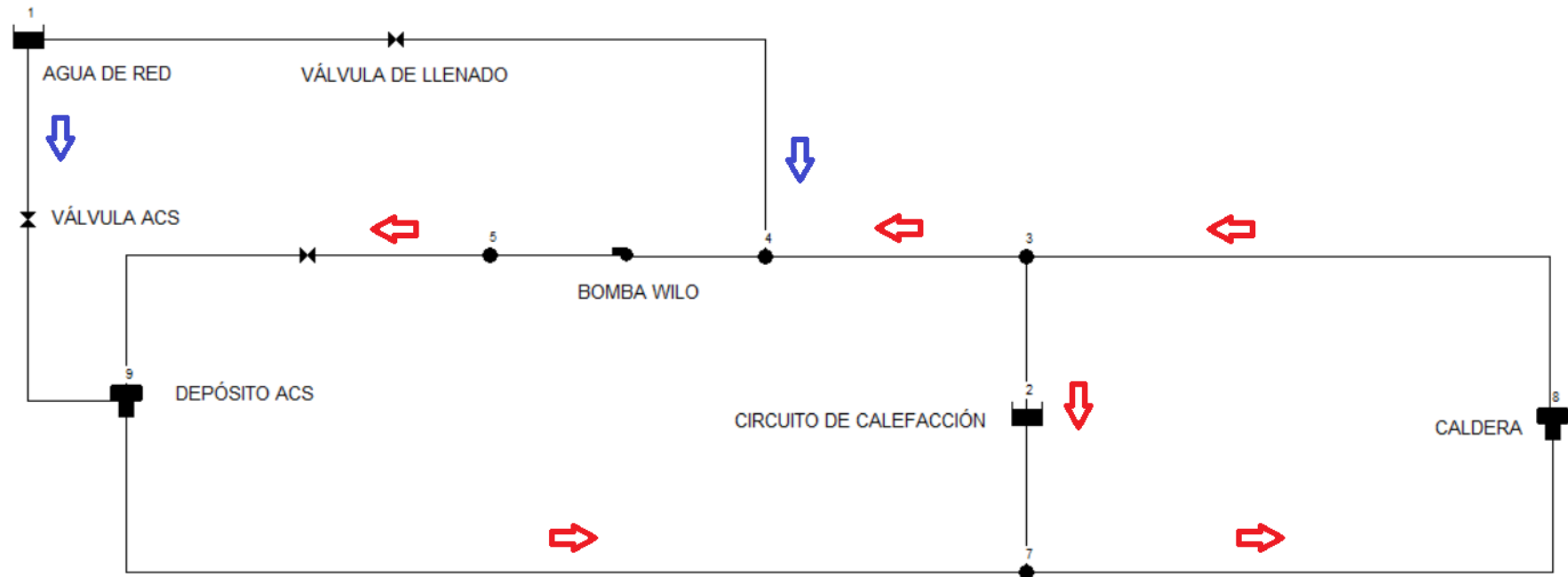


Ilustración 147. Esquema del circuito que une la caldera y el depósito. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

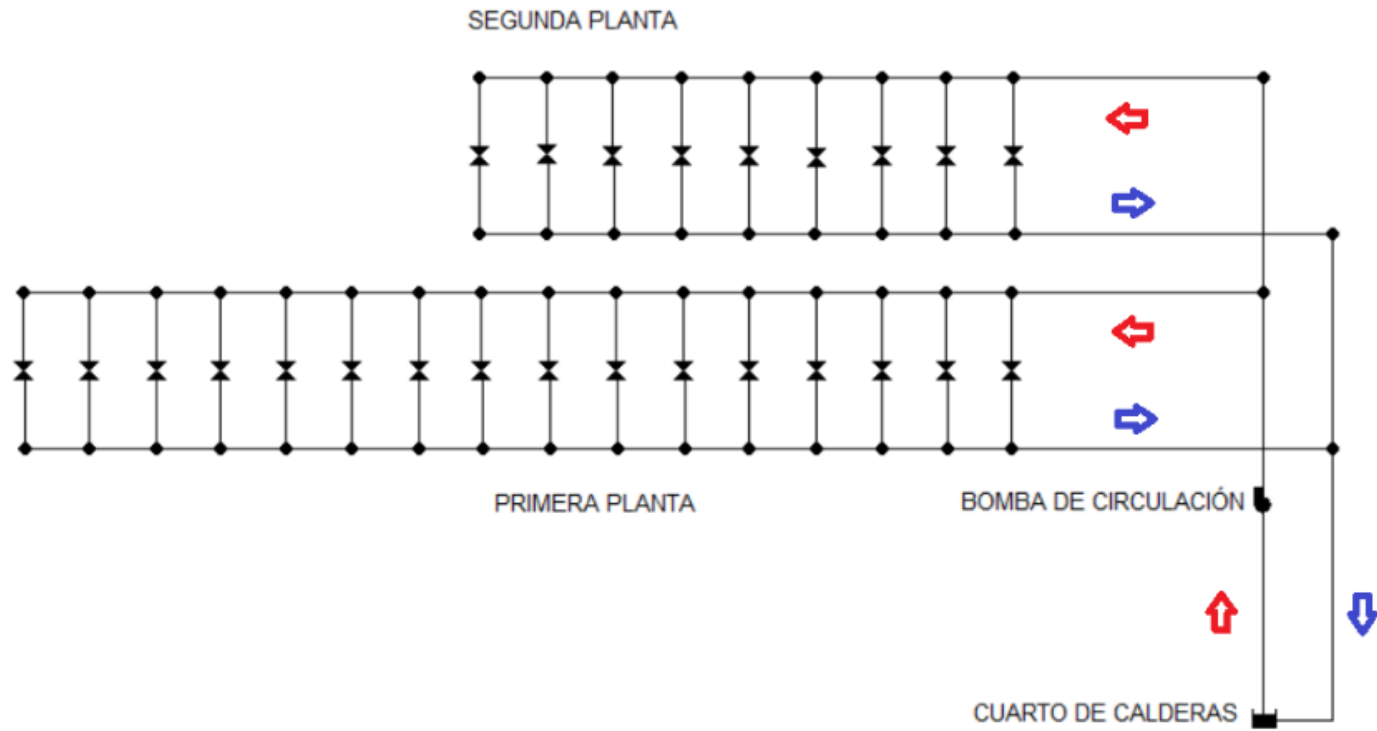


Ilustración 148. Esquema del circuito de calefacción. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

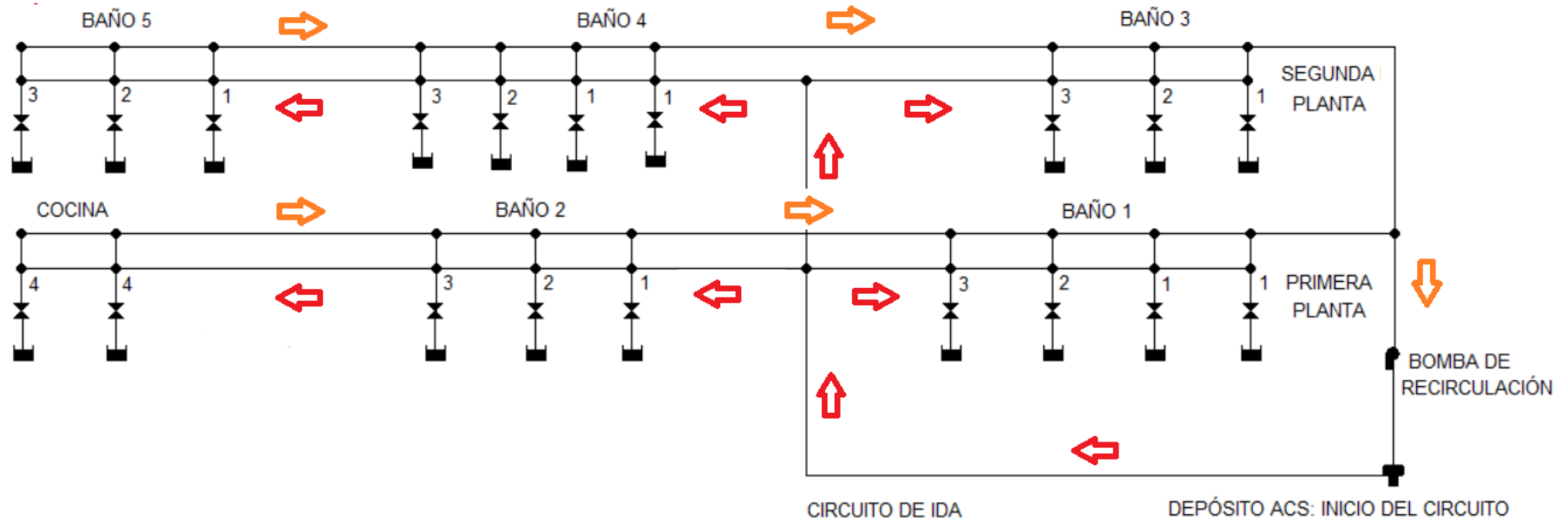


Ilustración 149. Esquema del circuito ACS. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

- **Tuberías planta baja:** La estrella se corresponde con la estrella del plano anterior. Es el punto por el que entran las tuberías a dicho piso. El perímetro total de la primera planta es de 78 m, que se asumirá igual a los metros de tubería que recorren las tuberías de la red de calefacción. Por otro lado, el perímetro ACS (longitud de la línea azul que simula los metros de tubería de agua caliente sanitaria) es de aproximadamente 25 m.

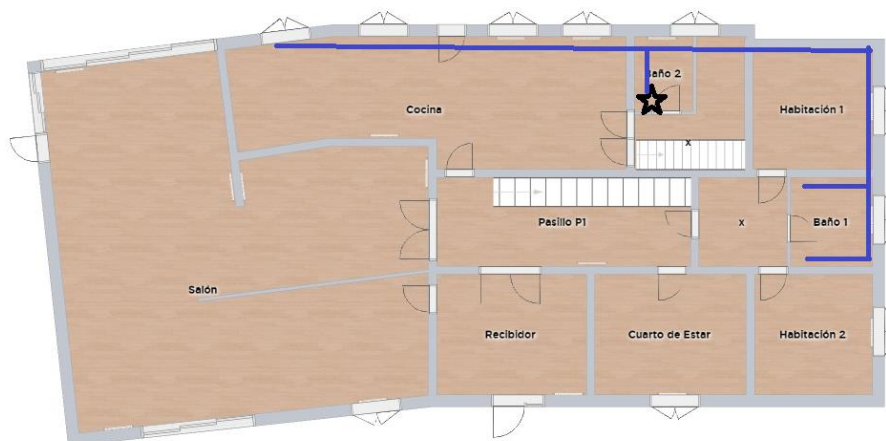


Ilustración 151. Tuberías de agua caliente sanitaria por la primera planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

- **Tuberías segunda planta:** Siguiendo la misma lógica que para la planta anterior, la línea azul se corresponde con el perímetro ACS del segundo piso y los metros de tubo de la red de calefacción se suponen igual al perímetro. Esta vez, la estrella no indica la entrada de las tuberías, sino el punto más crítico de dicho circuito, que se utilizará para varios cálculos. El perímetro es de 53 m y el perímetro ACS de 25 m.

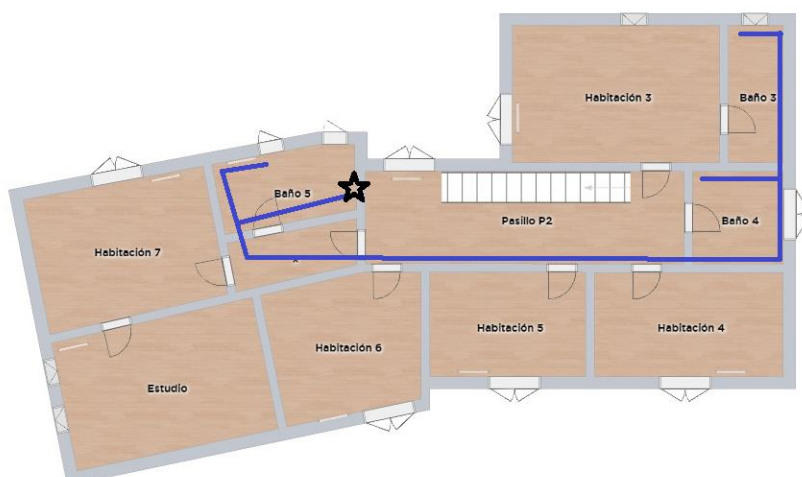


Ilustración 152. Tuberías de agua caliente sanitaria por la primera planta. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

- *Cálculo de los metros de tubería de la red de calefacción*

Con los términos calculados en el apartado anterior, los metros de tubería totales del circuito de calefacción vienen dados por la siguiente fórmula. Dicha fórmula ha sido multiplicada por dos, dado que hay que tener en cuenta la ida y el retorno.

$$\begin{aligned} \text{Longitud} &= 2 \cdot (\text{Longitud inicial} + \text{Alturas} + \text{Perímetros (1ª y 2ª planta)}) \\ &= 2 \cdot (17 + 5 + 78 + 53) = \mathbf{306 \text{ m}} \end{aligned}$$

- *Cálculo de los metros de tubería de la red de ACS*

Siguiendo la misma lógica de antes, los metros totales del circuito de ACS se calcularían según la fórmula indicada. Hay que tener en cuenta que tanto el circuito principal, como el de recirculación cuentan con la longitud indicada. Es decir, los metros totales de tubería deberían ser multiplicados por dos realmente.

$$\begin{aligned} \text{Longitud} &= \text{Longitud inicial} + \text{Alturas} + \text{perímetro ACS (1ª y 2ª planta)} \\ &= 17 + 6 + 25 + 25 = \mathbf{73 \text{ m}} \end{aligned}$$

8.2. ANEXO II: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA VIVIENDA

Gran parte de este capítulo se ha sacado del TFG. La única diferencia será que se añadirán las características de toda la maquinaria que se elija durante el desarrollo de este trabajo. Así, el capítulo se dividirá en dos partes. Por un lado, se incluirán las características de los aparatos o componentes existentes actualmente y, por el otro, los componentes que se han ido eligiendo a lo largo de ambos trabajos (TFG y TFM).

8.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS EXISTENTES

- **Bomba Wilo LARS25/6 – 3 P**



Ilustración 153. Bomba Wilo LARS 25/6 (Fuente: Elaboración propia)

Tensión nominal : 230 V

Frecuencia nominal: 50 Hz

Número de velocidades: 3

Velocidad 1 → Intensidad: 0,2 A → Potencia de entrada: 46 W

Velocidad 2 → Intensidad: 0,3 A → Potencia de entrada: 67 W

Velocidad 3 → Intensidad: 0,4 A → Potencia de entrada: 93 W

Líquido: Agua

Rango de temperaturas: -25 a 110 °C → En funcionamiento: 60 °C

Presión máxima: 10 bar

La curva real QH de la bomba se puede aproximar por la de la bomba Wilo-Star-Z-25/6, de acuerdo con el fabricante.

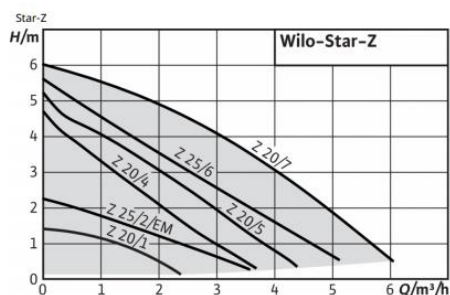


Ilustración 154. Gráfica de la bomba Wilo-Star-Z (Fuente: Wilo)

- **Caldera Ferroli GNI 05**



Ilustración 155. Caldera Ferroli GNI 05 (Fuente: Elaboración propia)

Tensión nominal : 230 V

Frecuencia nominal: 50 Hz

Protección IP40

Rango de Gasto calorífico (PCS) (GAS): 49,1 – 71,6 kW

Rango de Gasto calorífico (PCI) (GAS + GASÓLEO): 44,2 – 64,5 kW

Potencia útil: 40,5 – 56,1 kW

Presión máxima: 4 bar

Temperatura máxima caldera: 110 °C

Rango de Temperaturas del agua: 45 – 90 °C

Contenido de agua: 20 L

Curva de pérdida de carga:

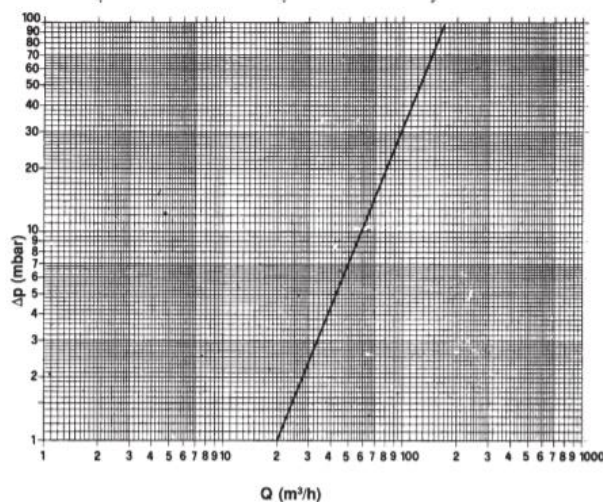


Ilustración 156. Curva de pérdidas de carga de la caldera Ferroli GNI 05 (Fuente: Ferroli)

- *Quemador Lamborghini EM 6-E*

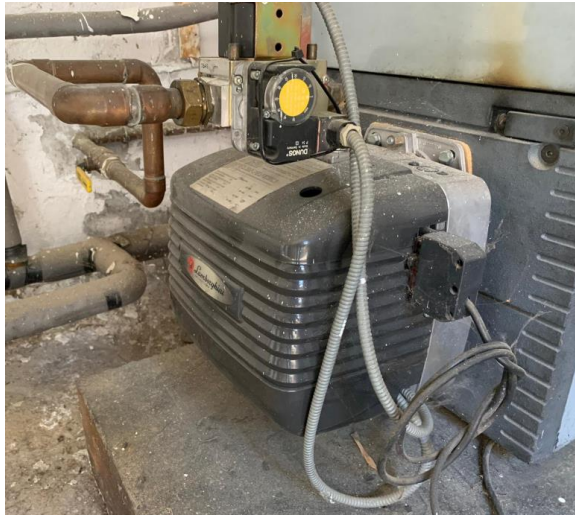


Ilustración 157. Quemador Lamborghini EM 6-E (Fuente: Elaboración propia)

Quemador de gas natural de 1 etapa.

Año de instalación: 2002

Tensión: 230 V

Frecuencia: 50 Hz

Caudal: 2,71 – 6,69 m³/h

Potencia Térmica: 27 – 66,6 kW

Presión mínima de Gas en la entrada de rampa: 24 mbar

Presión máxima de funcionamiento de la válvula de gas: 65 mbar

- **Interacumulador Roca Inoxidable 300**



Ilustración 158. Interacumulador Roca Inoxidable 300 (Fuente: Elaboración Propia)

Fluido calefactor: Agua caliente

Capacidad de agua: 300 L

Presión máxima circuito primario: 3 bar

Presión máxima circuito agua consumo (secundario): 7 bar

Temperatura máxima circuito primario: 110 °C

Temperatura máxima circuito agua consumo (secundario): 90 °C

Antigüedad: 1988

Esquema de funcionamiento:



Ilustración 159. Esquema de instalación del Interacumulador Roca Inoxidable 300 (Fuente: Elaboración Propia)

- **Bomba Grundfos UPS 25-80 180**

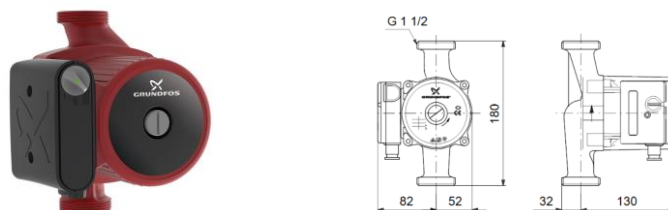


Ilustración 160. Esquema e imagen de la Bomba Grundfos UPS 25-80 180 (Fuente: Grundfos)

Tensión nominal : 230 V

Frecuencia nominal: 50 Hz

Condensador: 5 μ F

Número de velocidades: 3

Velocidad 1 \rightarrow Intensidad: 0,6 A \rightarrow Potencia de entrada: 130 W

Velocidad 2 \rightarrow Intensidad: 0,78 A \rightarrow Potencia de entrada: 175 W

Velocidad 3 \rightarrow Intensidad: 0,83 A \rightarrow Potencia de entrada: 190 W

Líquido: Agua

Rango de temperaturas: -25 a 110 $^{\circ}$ C \rightarrow En funcionamiento: 60 $^{\circ}$ C

Presión máxima: 10 bar

Clse TF 110

Curva QH:

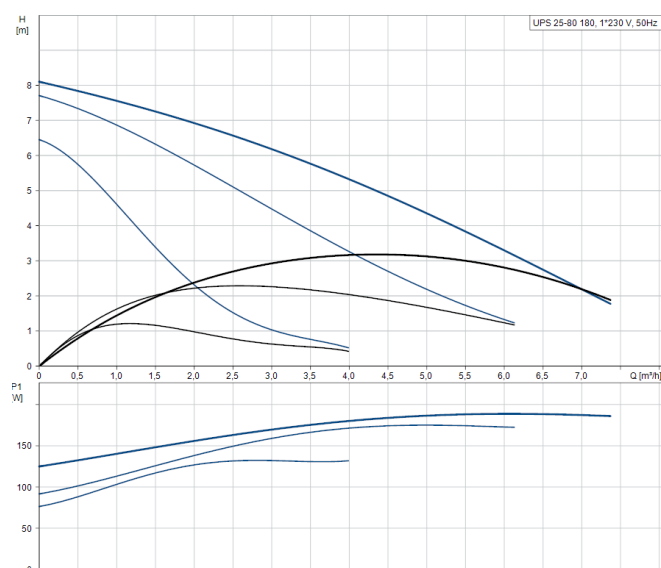


Ilustración 161. Gráficas de la Bomba Grundfos UPS 25-80 180 (Fuente: Grundfos)

[UPS 25-80 180 | Grundfos](#)

- *Radiadores de hierro fundido roca.*



Ilustración 162. Radiadores Baxi Roca de hierro fundido. (Fuente: Elaboración Propia)

Antigüedad: 1975

Todos los radiadores son de hierro fundido blancos y tienen cuatro tamaños diferentes (N46-4, N61-4, N80-4, N95-4). En la tabla se incluyen las características de los elementos que componen los radiadores existentes.

			N33-4	N46-4	N61-4	N80-4	N95-4
Dimensiones	Alto	mm	288	420	570	720	870
	Ancho	mm	50	50	50	55	55
	Profundo	mm	140	140	140	140	140
Potencia por elemento $\Delta T = 50^\circ$		W	41,6	59	76,7	99,7	117,6

Ilustración 163 . Datos de los radiadores actuales. (Fuente: Baxi)

[a00b07c36f28broch2es02pdf.pdf \(baxi.es\)](https://www.baxi.es/a00b07c36f28broch2es02pdf.pdf)

- **Bomba Grundfos COMFORT 15/14 B - PM**

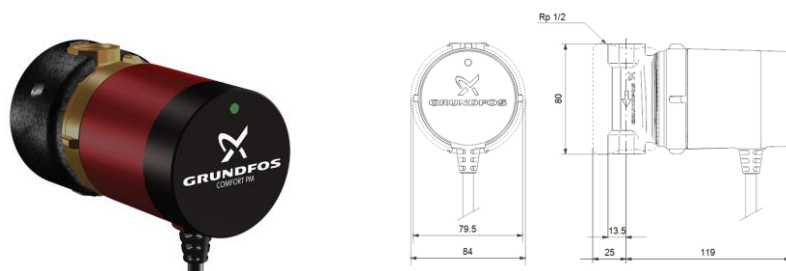


Ilustración 164. Esquema e imagen de la Bomba Grundfos COMFORT. (Fuente: Grundfos)

Tensión nominal : 230 V

Frecuencia nominal: 50/60 Hz

Condensador: 0,6 μ F

Número de velocidades: 1

Intensidad: 0,07 A \rightarrow Potencia de entrada: 7 W

Líquido: Agua

Rango de temperaturas: 20 a 95 °C \rightarrow En funcionamiento: 60 °C

Presión máxima: 10 bar

TF 95

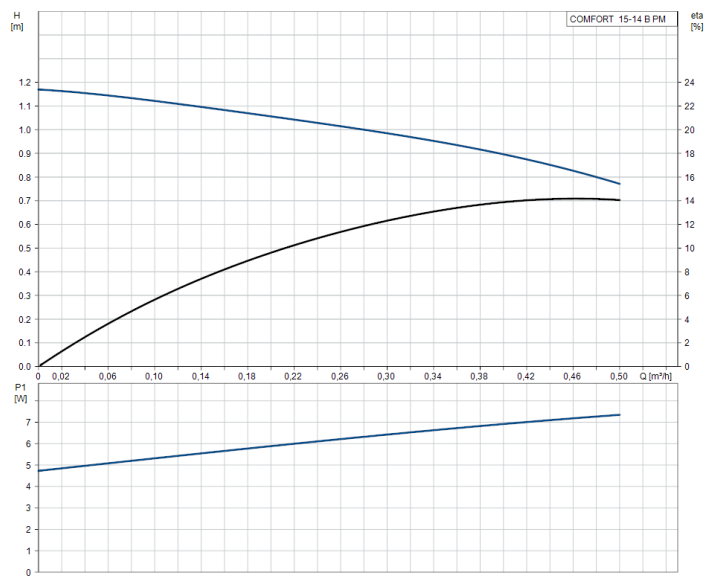


Ilustración 165. Gráficas de la Bomba Grundfos COMFORT. (Fuente: Grundfos)

[COMFORT 15-14 B PM | Grundfos](#)

8.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS PROPUESTOS

8.2.2.1. Aparatos propuestos durante la realización del TFG

- Radiadores de aluminio FERROLI modelo EUROPA C



Ilustración 166. Radiadores Ferrolí EUROPA C. (Fuente: Ferrolí)

En la siguiente tabla se recogen los datos detallados de todos los modelos. Dicha tabla ha sido sacada directamente de la página de Ferrolí.

DATOS TÉCNICOS EUROPA C						
CARACTERÍSTICAS		EUROPA 450 C	EUROPA 600 C	EUROPA 700 C	EUROPA 800 C	
Emisión térmica UNE EN 442	$\Delta T = 50^{\circ} C$	W	89,2	119,8	137,1	158,0
		kcal/h	76,7	103,0	117,9	135,8
	$\Delta T = 60^{\circ} C$	W	112,7	152,3	174,3	200,9
		kcal/h	96,9	131,0	149,8	172,8
	$\Delta T = 40^{\circ} C$	W	67,1	89,2	102,2	117,6
		kcal/h	57,7	76,8	87,9	101,2
	Emisión baja temperatura $\Delta T = 30^{\circ} C$	W	46,46	61,07	69,99	80,46
		kcal/h	39,96	52,52	60,19	69,19
Tª máxima de funcionamiento	110° C					
Exponente n	1,27784		1,31869	1,31598	1,32052	
Km	0,601947		0,688627	0,796525	0,901564	
Contenido agua	(litros)	0,31	0,39	0,45	0,50	
Peso	(kg)	1,04	1,34	1,57	1,85	
Dimensiones	A	(mm)	431	581	681	781
	B	(mm)	350	500	600	700
	C	(mm)	100	100	100	100
Conexiones	(Ø)	1"	1"	1"	1"	

Ilustración 167. Tabla de características de los radiadores Ferrolí EUROPA C. (Fuente: Ferrolí)

[europa C abril 2019 \(ferrolí.com\)](http://ferrolí.com/europa-C-abril-2019)

- Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4

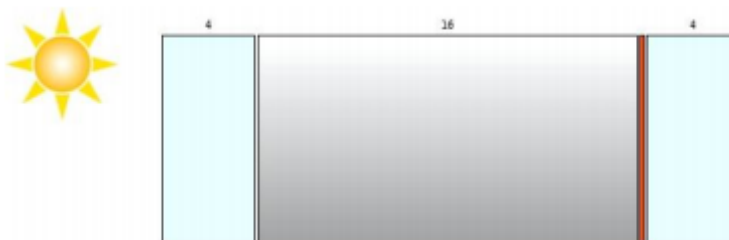


Ilustración 168. Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)

De exterior a interior:

Hoja 1: Float Glass ExtraClear 4 mm

Cámara: 16 mm, 100% Aire

Hoja 2: Float Glass ExtraClear 4 mm + Guardian Sun

Tabla de propiedades:

Luz visible (EN 410 - 2011)		Energía Solar (EN 410 - 2011)	
Transmitancia		Transmitancia energética solar total [%]	g = 50,8
Luminosa [%]	$\tau_v = 69,5$	Coefficiente de sombra (G/0,87)	sc = 0,58
Reflexión Luminosa exterior [%]	$\rho_v = 16,9$	Transmitancia energética directa [%]	$\tau_e = 40,8$
Reflección Luminosa interior [%]	$\rho_v = 19,4$	Reflexión energética exterior [%]	$\rho_e = 39,5$
Indice general de rendimiento de color [%]	$R_a = 94,5$	Reflexión energética interior [%]	$\rho_e = 39,2$
Propiedades térmicas (EN 673 - 2011)		Absorción energética [%]	a = 19,7
Valor-U [W/(m ² K)]	$U_g = 1,3$	Transmitancia de UV [%]	$\tau_{uv} = 19,4$
Inclinación $\alpha = 90^\circ$		Transmitancia energética indirecta [%]	$q_i = 10,0$
		Otros datos	
		Indice de atenuación acústica estimada [dB]	$R_w = \text{NPD}$
		(EN 717-1)	C = NPD
			$C_{tr} = \text{NPD}$

Ilustración 169. Tabla de propiedades del Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 (Fuente: García Tamayo)

- **Bomba Grundfos CME 1-2 A-R-A-E-AQQE U-A-D-N**

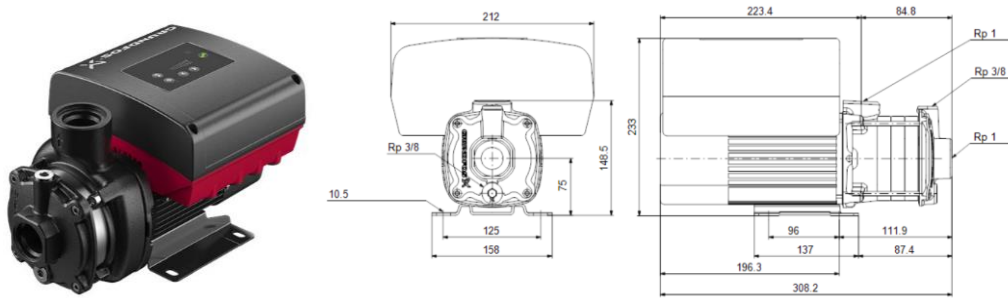


Ilustración 170. Esquema e imagen de la bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Grundfos)

Motor síncrono de imanes permanentes

Convertidor de frecuencia incluido

Fases: 1

Tensión nominal: 1 x 220-240 V

Frecuencia: 50/60 Hz

Material: Fundición

Rango de velocidades: 360 – 4000 rpm

Potencia (P2): 0,55 kW

Líquido: Agua

Rango de temperaturas: -20 a 90 °C → En funcionamiento: 60 °C

Prsión máxima: 10 bar

Gráficas:

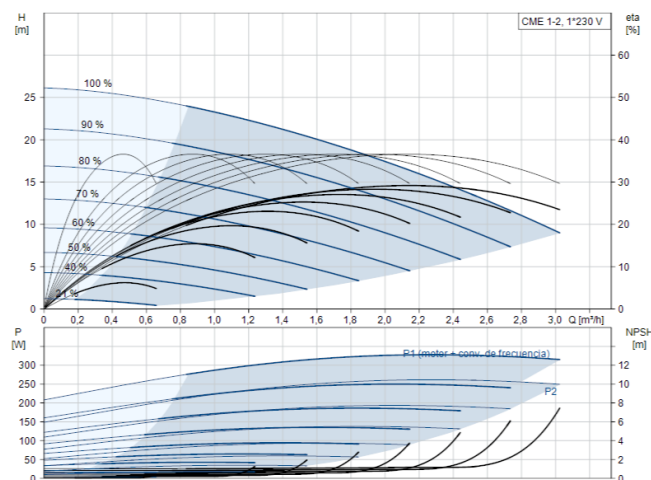


Ilustración 171. Gráficas de la bomba Grundfos CME 1-2 A. (Fuente: Grundfos)

[CME 1-2 A-R-A-E-AQQE U-A-D-N | Grundfos](#)

- **Bomba Grundfos Magna3 25-80 180**

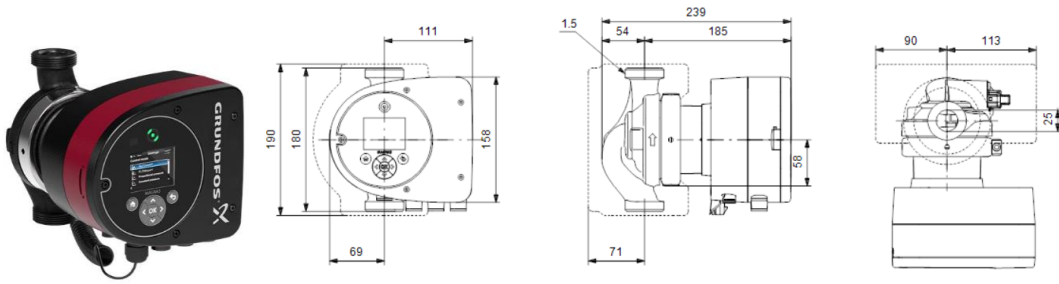


Ilustración 172. Esquema e imagen de la bomba Grundfos Magna3. (Fuente: Grundfos)

Bomba circuladora de motor de imán permanente

Tensión: 1 x 230 V

Frecuencia: 50/60 Hz

Líquido: Agua

Rango temperaturas líquido: -10 a 110 °C → En funcionamiento: 60 °C

Potencia (P1): 9 a 116 W

Altura máx.: 8 m

Prsión máxima: 10 bar

TF 110

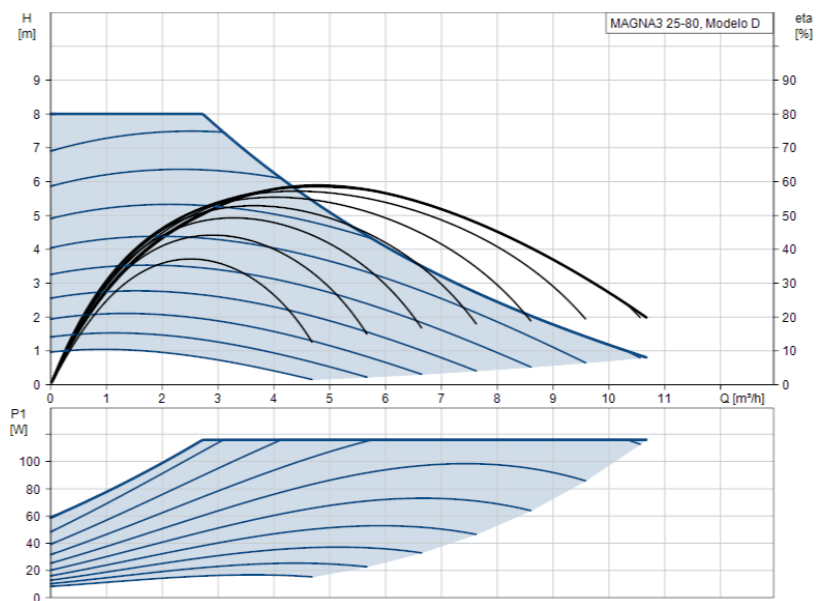


Ilustración 173. Gráfica de la bomba Grundfos Magna3. (Fuente: Grundfos)

[MAGNA3 25-80 | Grundfos](#)

8.2.2.2. Aparatos propuestos durante la realización del TFM

- **Bomba de calor Monoblocco R32 Triphase 30 de Mitsui**



Ilustración 174. Bomba de calor Monoblocco R32 (Fuente: Mitsui)

Clase energética A++

Wi-fi incluido

Gas refrigerante R32

Tecnología inverter

Normativa 2002/95/CE

Tabla de propiedades (Parámetros para calefacción² y enfriamiento⁴):

MHPA30RP24P3MI			
Alimentación		V/Ph/Hz	380-415/3/50
Calefacción ²	Capacidad	kW	30.1
	Potencia absorbida	kW	7.70
	COP		3.91
Calefacción ³	Capacidad	kW	30.0
	Potencia absorbida	kW	13.04
	COP		2.30
Enfriamiento ⁴	Capacidad	kW	31.0
	Potencia absorbida	kW	7.75
	EER		4.00
Enfriamiento ⁵	Capacidad	kW	29.5
	Potencia absorbida	kW	11.57
	EER		2.55
Clase de eficiencia energética estacional en calefacción ⁶	LWT a 35 °C		A++
	LWT a 55 °C		A+
SCOP ⁶	LWT a 35 °C		4.19
	LWT a 55 °C		3.14
SEER ⁶	LWT a 7 °C		4.49
	LWT a 18 °C		5.71

Ilustración 175. Propiedades de la bomba de calor Monoblocco R32 (Fuente: Mitsui)

- **Depósito interacumulador BAXI 300 L**



Ilustración 176. Interacumulador ACS Baxi (Fuente: Baxi)

Resistente a la corrosión

Circuito primario con dos serpentines cónicos de alto rendimiento.

Aislamiento del depósito mediante espuma rígida de poliuretano inyectado

Incorpora la protección por ánodo de sacrificio de magnesio e indicador de su estado.

Opcionalmente, permiten la conexión de equipos de protección catódica electrónica.

Circuito secundario (agua sanitaria)		
Temperatura máxima de servicio	°C	110
Presión máxima de servicio	MPa (bar)	1,0 (10)
Capacidad de agua	litros	300
Peso		
Peso del embalaje - Bulto del acumulador	kg	140
Rendimiento del circuito primario: Intercambiador de respaldo		
Intercambio en salida ⁽¹⁾	kW	25,5
Rendimiento		
Caudal ($\Delta T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) ⁽¹⁾	litros/h	626
Pérdida de calor en modo de espera ($\Delta T = 45\text{ K}$)	kWh/24h	2,10
<small>(1) Temperatura primaria: 55 °C - Entrada de agua fría sanitaria: 10 °C - Salida de agua caliente sanitaria: 45 °C - Temperatura primario: 2 m³/h</small>		

Ilustración 177. Tabla de propiedades del interacumulador ACS Baxi (Fuente: Baxi)

- *Suelo radiante GRAFIPLAC*



Ilustración 178. Suelo radiante GRAFIPLAC. (Fuente: ESAK)

Tubo PEX de polietileno reticulado 16 x 1,9 mm

Barrera antidifusión de oxígeno EVAL 8,5 m/m²

Plancha de aislamiento térmico y acústico FITTINGSESTANDAR GRAFIPLAC

Plancha de espuma de poliestireno expandido EPS GRAFITO de 19 o 34 mm²

Tetones de 0,77 m²·K/W

Densidad aparente: 20 kg/m³

Reducción de nivel sonoro de 21-25 dB

Distribuidores UPONOR

[PANEL AISLANTE GRAFIPLAC BASE 19 mm - Fittings Estándar
\(fittingsestandar.com\)](http://fittingsestandar.com)

- **Bomba Grundfos Magna1 32-100**

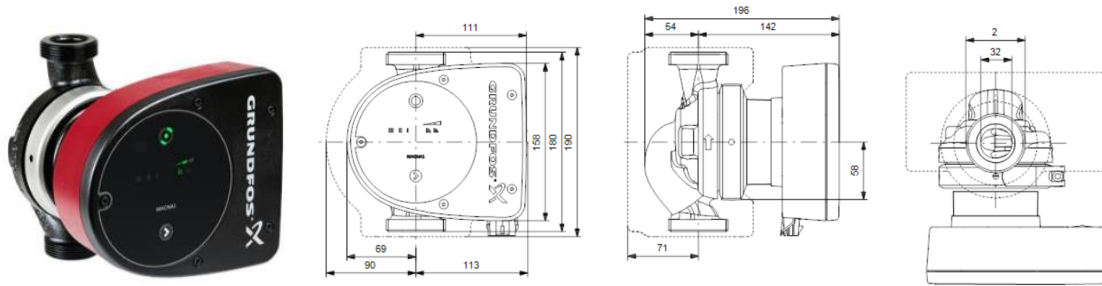


Ilustración 179. Esquema e imagen de la bomba Grundfos Magna1. (Fuente: Grundfos)

Bomba circuladora de motor de imán permanente

Tensión: 1 x 230 V

Frecuencia: 50/60 Hz

Líquido: Agua

Rango temperaturas líquido: -10 a 110 °C → En funcionamiento: 60 °C

Potencia (P1): 8 a 175 W

Altura máx.: 100 dm

Prsión máxima: 10 bar

Gráficas:

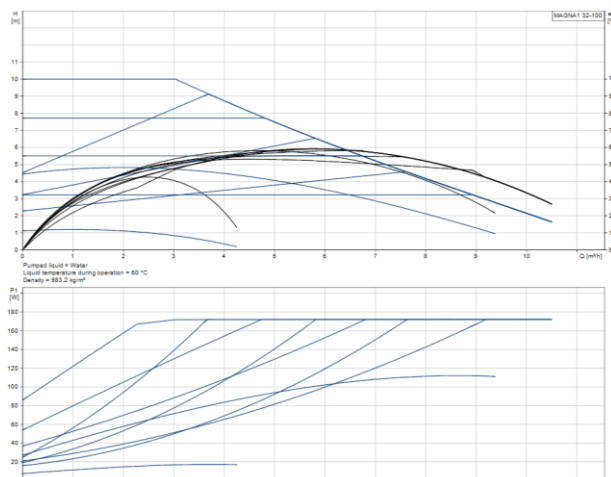


Ilustración 180. Gráfica de la bomba Grundfos Magna1. (Fuente: Grundfos)

[MAGNA1 32-100 - 97924165 | Grundfos](https://www.grundfos.com/es/products/32-100)

- **Caldera de pellets Automatik + Lambda 48 kW de KalorStufe**



Ilustración 181. Caldera de pellets Automatik de 48 kW (Fuente: KalorStufe)

Fabricada en Italia

Wi-Fi incluido

Display LCD

Sonda Lambda

Tabla de propiedades (Columna Mod. 48 L):

MAX - MIN		Mod. 12 L 300 m ³	Mod. 18 L 450 m ³	Mod. 24 L 560 m ³	Mod. 31 L 750 m ³	Mod. 48 L 1100 m ³
Potenza globale / Heat input / Puissance thermique totale Thermische Gesamtleistung / Potencia global / Potência global	kW	13,5	19,5	26,2	33,3	52,17
Potenza nominale / Nominal heat output / Puissance nominale Thermische Nennleistung / Potencia nominal / Potência nominal	kW	12,4 - 3,6	18 - 5,4	24,3 - 7,2	31 - 9,3	48 - 14,4
Emissioni CO al 13% O₂ / CO emissions at 13% O ₂ / Émission de CO à 13 % d' O ₂ CO-Emission bei 13% O ₂ / Emisión de CO al 13% de O ₂ / Emissões de CO a 13% O ₂	g/Nm ³	0,085 - 0,195	0,083 - 0,163	0,080 - 0,131	0,65 - 0,113	0,23 - 0,070
Emissioni polveri al 13% O₂ / Dust-emissions at 13% O ₂ / Émission de poussières à 13 % d'O ₂ Staub-Emission bei 13% O ₂ / Emisión de polvo al 13% de O ₂ / Emissão de pó a 13% O ₂	mg/Nm ³	14	17 - 12	9 - 19	10 - 19	13 - 19
Consumo orario / Hourly consumption Consumation horaire / Stündlicher Verbrauch Consumo horario / Consumo por hora	kg - h	2,84 - 0,83	4,25 - 1,04	5,49 - 1,25	8,47 - 2,28	11,3 - 3,03
Efficienza / Efficiency / Rendement / Effizienz / Eficiencia / Eficiência	%	92 - 90,2	92,4 - 90,4	92,7 - 90,6	92,9 - 90,63	91,2 - 90,7
Assorbimento sotto pressione / Absorption under pressure / Absorption cheminée sous pression / Kamin Absorption unter Druck / Absorción bajo presión / Absorção sob de pressão	mbar	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Quantità di acqua nella caldaia / Amount of water in the boiler / Quantité de l'eau dans la chaudière / Menge Wasser in dem Kessel / Cantidad de agua en la caldera / Quantidade de água na caldeira	lt	78	76	100	108	135
Temp. del gas di scarico a potenza nominale / Exhaust gas temperature at nominal power / Temp. gaz d'échappement puissance nominale / Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung / Temp. de los gases de escape a la potencia nominal / Temp. gases de escape na potencia nominal	C°	120	120	120	120	120

ECODESIGN2020

A+



Ilustración 182. Propiedades de la caldera Automatik 48 kW (Fuente: KalorStufe)

- **Caldera de pellets Hargassner, Smart-PK32 9,6-32 kW**



Ilustración 183. Caldera de pellets Smart-PK 32 (Fuente: Hargassner)

Fabricada en Alemania
Control Touch Automático
Control Lambda
Encendido automático de 300 W

Tabla de propiedades (Columna Smart PK-32):

Datos técnicos	Caldera de pellets Smart-PK 17-32				
	Unidad	Smart-PK 17	Smart-PK 20	Smart-PK 25	Smart-PK 32
Rango de potencia	kW	5,1 - 17	6,5 - 21,7	7,5 - 25	9,6 - 32
Eficiencia carga total y parcial	%	95,1 - 93	95 - 96,4	95,1 - 96,2	95,3 - 95,8
Potencia calorífica a carga total	kW	17,9	22,8	26,3	33,6
Diámetro del tubo de extracción de humos	mm	130			
Depósito de pellets	kg	174			
capacidad de agua	l	42			
Pérdida de carga ΔT 10 / 20	mbar	21 - 8	27 - 10	28 - 13	29 - 16
Impulsión / retorno	Pulgadas	5/4"			
Medidas caldera alto x A x F	mm	1520 x 1080 x 650			
Peso	kg	290			
Medidas de colocación alto x A x F (desmontado)	mm	1520 x 573 x 575			
Peso para montaje	kg	180			

Ilustración 184. Propiedades de la caldera Smart-PK 32. (Fuente Hargassner)

[Caldera de pellets Smart-PK | Hargassner](#)

- **Depósito Domusa DUO 750/100**

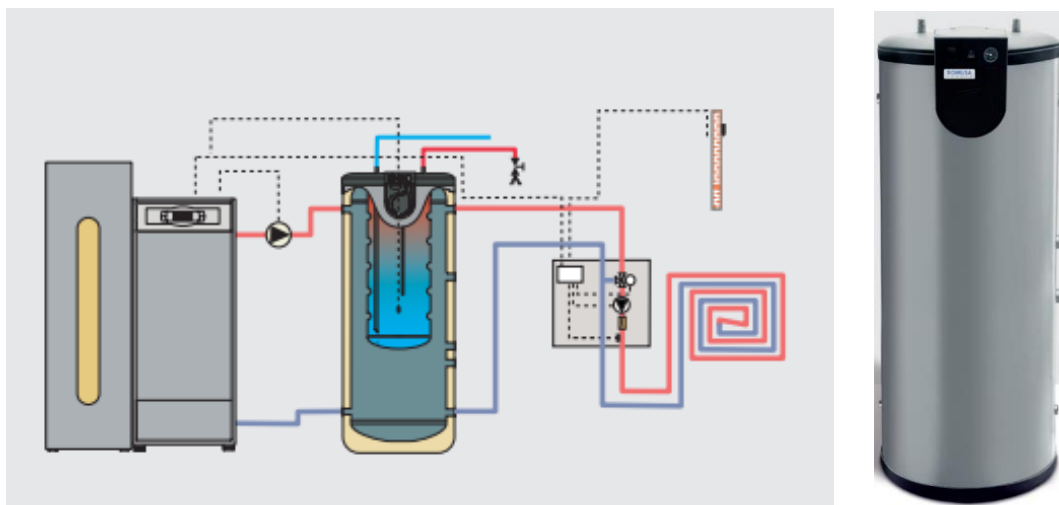


Ilustración 185. Depósito Domusa DUO 750/100 (Fuente: Domusa Technik)

Depósito de Inercia 750L

Acumulador de ACS incorporado de 190L

Tabla de propiedades (Fila BT DUO 750):

Modelos	Volumen total	Volumen ACS	Superficie de intercambio del serpentín solar	Intercambiador solar	Caudal ACS		Clase de eficiencia energética
	L	L			L/10 min ΔT 300C	L/h ΔT 300C	
BT DUO 150	150	80	-	NO	274	815	C
BT DUO 250	250	130	-	NO	348	1.008	
BT DUO 500	505	150	-	NO	460	1.260	
BT DUO 750	750	190	-	NO	570	1.520	-
BT DUO 1000	1.000	190	-	NO	620	1.570	-
BT DUO 500 ME	505	150	2,40	SI	389	1083	-
BT DUO 750 ME	750	150	3,46	SI	389	1083	-
BT DUO 1000 ME	1.000	150	4,38	SI	389	1083	-

Ilustración 186. Propiedades del depósito Domusa BT DUO 750. (Fuente Domusa Technik)

[000ESC4194.pdf \(windows.net\)](#)

- **Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32**



Ilustración 187. Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32. (Fuente: Hargassner)

Carga/protección back end

Tabla de propiedades (Fila Nano-PK 32)*:

Datos técnicos		Nano-PK 6	Nano-PK 9	Nano-PK 12	Nano-PK 15	Nano-PK 20	Nano-PK 25	Nano-PK 32
Rango de potencia	kW	1,6 - 6	2,7 - 9	3,6 - 12	4,5 - 15	6 - 20	7,5 - 25	9,5 - 32
Diámetro del tubo de extracción de humos	mm	100	100	100	100	130	130	130
Conexión general de aire	mm	75	75	75	75	75	75	75
capacidad de agua	Litros	24	24	24	24	42	42	42
Temp. de servicio máx.	°C	85	85	85	85	85	85	85
Presión máx. de servicio	bar	3	3	3	3	3	3	3
Impulsión CC / ACS / Inercia con IHM1 6 2*	Pulg.	1 "	1 "	1 "	1 *	5 / 4 *	5 / 4 *	5 / 4 *
Impulsión inercia IHM1 6 2*	Pulg.	1 "	1 "	1 "	1 *	5 / 4 "	5 / 4 "	5 / 4 "
Impulsión/Retorno CC IHM1*	Pulg.	5 / 4 "	5 / 4 "	5 / 4 "	5 / 4 "	6 / 4 "	6 / 4 "	6 / 4 "
Impulsión / retorno caldera**	Pulg.	1 "	1 "	1 "	1 *	5 / 4 "	5 / 4 "	5 / 4 "
Peso	kg	220	220	220	220	360	365	370
Altura de la caldera	mm	1350	1350	1350	1350	1550	1550	1550
Ancho de la caldera	mm	780	780	780	780	980	980	980
Fondo de la caldera	mm	580	580	580	580	700	700	700
Acometida eléctrica	230 VAC, 50 HZ, 13 A							

Ilustración 188. Propiedades del depósito Domusa BT DUO 750. (Fuente Domusa Technik)

*Este módulo hidráulico se suele instalar dentro de la caldera Nano-PK, por lo que la tabla incluye propiedades de dicha caldera. No obstante, en este caso el módulo se integra dentro de la caldera Smart-PK, por lo que algunas propiedades cambian.

• **Bomba de calor reversible HTW de la serie admira R32**



Ilustración 189. Unidades interior y exterior de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)

Compresor y ventiladores DC inverter

Control por voz y cableado

Mayor rendimiento a altas temperaturas con A++ en SEER

Dos opciones de posición de retorno de aire

Módulo WIFI

Hasta 75 m de longitud de tubería

Tabla de propiedades (los modelos elegidos han sido el 090ADMR32 y el 140ADMR32):

		HTW-D-035ADMR32	HTW-D-052ADMR32	HTW-D-071ADMR32	HTW-D-090ADMR32	HTW-DT3-140ADMR32
MODELOS		INT. HTW-DI-035ADMR32	HTW-DI-052ADMR32	HTW-DI-071ADMR32	HTW-DI-090ADMR32	HTW-DI-140ADMR32
		EXT. HTW-UO-035ADMR32	HTW-UO-052ADMR32	HTW-UO-071ADMR32	HTW-UO-090ADMR32	HTW-UOT3-140ADMR32
Alimentación eléctrica / Conexión		V.F.Hz 220-240V (1 Fase - 50Hz)				380-415V (3 Fase - 50Hz)
RENDIMIENTO						
Capacidad refrigeración	Capacidad	kW 3.52 (0.53-3.99)	5.28(2.55-5.86)	7.03(3.28-8.16)	8.79 (2.23-9.85)	14.07 (3.52-15.53)
		Btu/h 1200 (800-13607)	18000 (8700-20000)	24000 (11180-27830)	30000 (7600-33600)	48000 (12000-53000)
	Consumo	W 1053 (155-1373)	1530 (710-2150)	2190 (750-2960)	2500 (190-3050)	4800 (880-6000)
	SEER	- 6.3	6.5	6.2	6.5	6.1
	Clasificación energética	Frio A++				++
Capacidad calefacción	Capacidad	kW 3.81(1.00-4.39)	5.57(2.20-6.15)	7.62(2.81-8.49)	9.38 (2.70-10.02)	16.12 (4.10-18.17)
		Btu/h 13000 (3400-14975)	19000 (7500-21000)	26000 (9580-28954)	32000 (9200-34200)	55000 (14000-62000)
	Consumo	W 1038 (302-1390)	1510 (740-1760)	1900 (640-2580)	2250 (430-2450)	4500 (950-5700)
	SCOP	-	4.0			
	Clasificación energética	Calor A+				+
CARACTERÍSTICAS						
Unidad interior	Potencia sonora	dB(A) 57	58	61	63	66
	Presión sonora	dB(A) 34.5/30.5/29/23	41/38/34/26	25.50/29.10/32.80	34.30/36.70/39.20	50/49/47/42
	Presión estática	Pa 25 (0 - 60)	25 (0 - 100)	25 (0 - 160)	37 (0 - 160)	50 (0 - 160)
	Caudal de aire	m3/h 600/480/300	911/706.3/515.2	1229/1035/825.1	2100/1800/1500	2400/2040/1680
	Rango de temp. seleccionable	°C	16 - 30			
Unidad exterior	Presión sonora	dB(A) 53,6	56	60	63	63,5
	Caudal de aire	m3/h 2200	2100	3500	3800	7500
	Temp. de operación frío/calor	°C -15-50 / -15-24	-15-50 / -15-24	-15-50 / -15-24	-15-50 / -15-24	/ -15-24
	Compresor		GMCC			
Refrigerante	Tipo / Carga	R32/Kg 0,72	1,15		2	2,9
	Carga adicional > 5 m	g/m	12		24	34

Ilustración 190. Tabla de propiedades de la bomba de calor reversible HTW de la serie Admira R32. (Fuente: HTW)

- **Bomba de calor geotérmica**

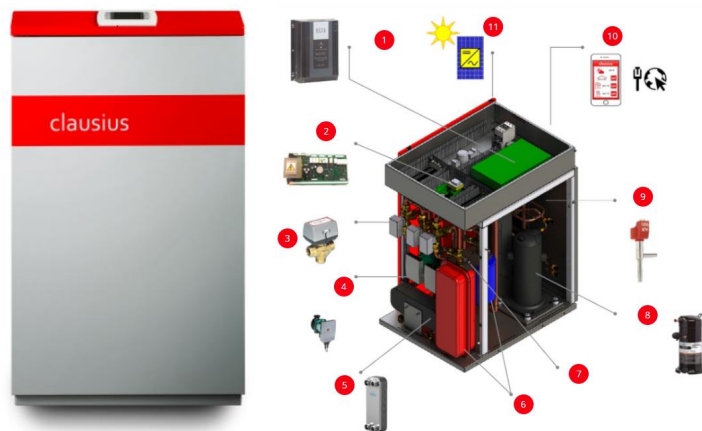


Ilustración 191. Bomba de calor geotérmica Claussius Classic. (Fuente: Claussius)

Tecnología inverter

Circulación de velocidad variable

Inversor de ciclo

Sensor de temperatura interior

Incluye conexiones hidráulicas y sistema de monitorización remota

a	Nombre o marca comercial del proveedor	CLAUSIUS	
b	Identificador del modelo del proveedor	classic H 5-25 / classic HC 5-25	
c	Aplicación	Baja temperatura (35°C)	Media temperatura (55 °C)
d	Clase de eficiencia energética estacional de calefacción	A++	A++
e	Potencia calorífica nominal	25 kW	25 kW
f	Consumo anual de energía en calefacción (condiciones climáticas medias)	9666 kWh	11602 kWh
g	Eficiencia energética estacional de calefacción (condiciones climáticas medias)	219 %	183%
h	Nivel de potencia acústica en interiores (L _{WA})	42 dB	
i	Posibilidad de funcionamiento únicamente en horas de baja demanda	Sí	
j	Precauciones específicas que hayan de tomarse durante el montaje, instalación o mantenimiento	Todas las operaciones indicadas se realizarán siempre por personal cualificado y siguiendo las instrucciones dispuestas en el manual del producto.	
k	Potencia calorífica nominal (condiciones climáticas frías)	25 kW	25 kW
	Potencia calorífica nominal (condiciones climáticas cálidas)	25 kW	25 kW
l	Consumo anual de energía en calefacción (condiciones climáticas frías)	11308 kWh	13584 kWh
	Consumo anual de energía en calefacción (condiciones climáticas cálidas)	6303 kWh	7502 kWh
m	Eficiencia energética estacional de calefacción (condiciones climáticas frías)	226 %	188 %
	Eficiencia energética estacional de calefacción (condiciones climáticas cálidas)	222 %	187 %
n	Nivel de potencia acústica en exteriores (L _{WA})	0 dB	

Ilustración 192. Propiedades de la Bomba de calor Claussius Classic. (Fuente: Claussius) [Claussius Classic - Claussius](#)

• *Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100*

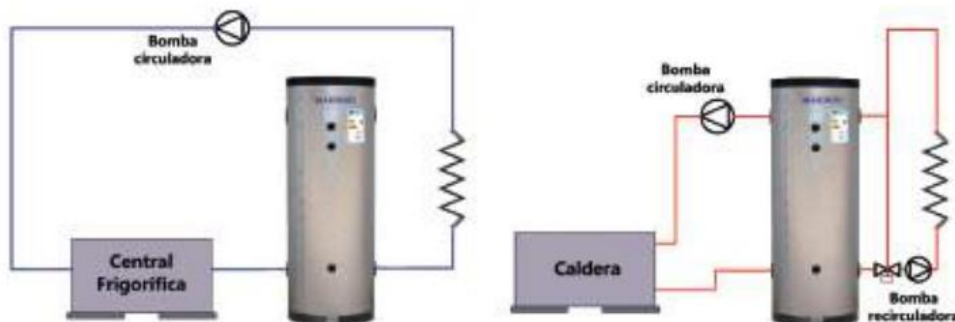


Ilustración 193. Depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: Ibaiondo)

Válido para calefacción y refrigeración

Aislamiento de espuma de poliuretano rígido y aluminio gofrado

Temperatura de trabajo: 0 a 100 °C

Tabla de propiedades (modelo AR-A100):

Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		Conexión		
					Ø D (mm)	H (mm)	e-r	t-s	p-v
12	30003061	30 AR-A	30	6	310	600	1"	1/2"	1/2"
15	30005061	50 AR-A	50	6	410	560	1"	1/2"	1/2"
30	30010061	100 AR-A	100	6	460	970	1 1/4"	1/2"	1 1/4"
45	30020061	200 AR-A	200	6	650	1090	1 1/2"	1/2"	1 1/4"
60	30030061	300 AR-A	300	6	650	1555	2"	1/2"	1 1/4"
90	30050061	500 AR-A	500	6	700	1915	3"	1/2"	1 1/4"
130	30075061	750 AR-A	750	6	910	1945	3"	1/2"	1 1/4"
210	30100061	1000 AR-A	1000	6	950	2310	3"	1/2"	1 1/4"
280	30150061	1500 AR-A	1500	6	1160	2280	3"	1/2"	1 1/4"

Ilustración 194. Tabla de propiedades del depósito de Inercia IDROGAS AR-A100. (Fuente: Ibaiondo)

• **Módulo fotovoltaico EX460-480HJT**

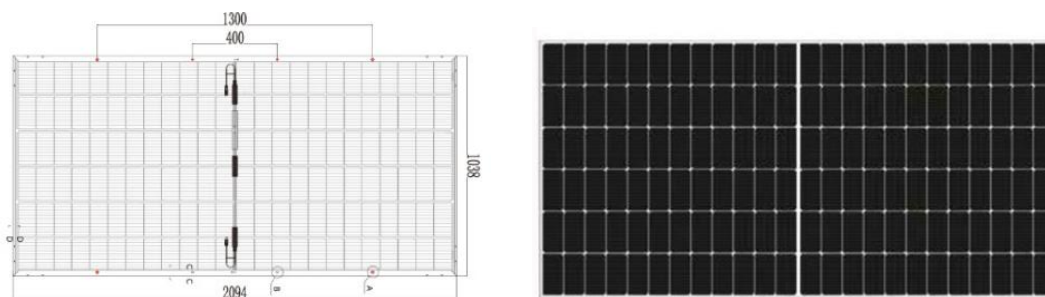


Ilustración 195. Módulos fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)

Estructura Laminada: Vidrio/POE/célula/POE/Vidrio

Tipo de célula: HIT Mono 166 x 83 mm

Conexión de célula: 144 (72 x 2)

Dimensiones: 2094 x 1038 mm

Peso: 27,5 kg

Caja de conexiones: IP67/IP68

Cable: 4 mm², 200 mm longitud (customizable)

Tablas de propiedades:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Potencia máxima - Pmax (W)	460	465	470	475	480
Corriente en circuito abierto - Voc (V)	53.22	53.35	53.48	53.61	53.74
Corriente de cortocircuito - Isc (A)	10.58	10.64	10.70	10.76	10.82
Tensión de máxima potencia - VMP (V)	45.24	45.44	45.66	45.86	46.08
Corriente en el punto de máxima potencia - IMP (A)	10.18	10.24	10.30	10.36	10.43
Eficiencia del módulo (%)	21.2	21.4	21.3	21.9	22.1
Temperatura de funcionamiento del módulo	-40 a + 85°C				
Tensión máxima del sistema	DC1500V (IEC)				
Fusible de serie máximo	20A				
Clasificación de la potencia	0~ +5W				
Bifacialidad (%)	80±5				

BSTC**

Potencia máxima - Pmax (W)	510	515	520	525	530
Corriente en circuito abierto - Voc (V)	54.33	54.73	55.33	55.93	56.53
Corriente de cortocircuito - Isc (A)	11.53	11.57	11.61	11.65	11.69
Tensión de máxima potencia - VMP (V)	46.20	46.40	46.60	46.80	47.00
Corriente en el punto de máxima potencia - IMP (A)	11.14	11.57	11.61	11.65	11.69

PARAMETROS DE TEMPERATURA

Temperatura nominal de funcionamiento de la célula (NOCT)	44°C (±2°C)
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.26 %/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.24 %/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	0.04 %/°C

Ilustración 196. Propiedades de los módulos fotovoltaicos Exiom. (Fuente: Salvador Escoda)

- **Inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2**



Ilustración 197. Inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda)

Artículo	€
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 3KW - 230V 2MPPT	935,00
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 3.6KW - 230V 2MPPT	900,00
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 4KW - 230V 2MPPT	1.045,00
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 5KW - 230V 2MPPT	1.094,00
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 6KW - 230V 2MPPT	1.237,50
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 7KW - 230V 2MPPT	1.400,00
INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 8KW - 230V 2MPPT	1.500,00

Ilustración 198. Precios del inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda)

Modelo	R5-3K-S2	R5-3.6K-S2	R5-4K-S2	R5-5K-S2	R5-6K-S2	R5-7K-S2	R5-8K-S2
Código	SF14437	SF14433	SF14438	SF14439	SF14440	SF14441	SF14442
Datos Técnicos Entrada (CC)							
Máxima potencia CC [Wp]@STC	4500	5400	6000	7500	9000	10500	12000
Tensión máxima de entrada CC [V]				600			
Intervalo MPPT de tensión CC [V]				90-550			
Tensión nominal CC [V]				360			
Tensión de activación [V]				100			
Tensión mínima CC [V]				80			
Corriente de entrada CC máxima [A]				15/15			25/12.5
Número de conectores de CC por MPPT				1/1			2/1
Nº MPPT				2			
Interruptor CC				Integra do			
Datos Técnicos Salida (CA)							
Potencia nominal CA [W]	3000	3680	4000	5000* ¹	6000	7000	8000
Potencia máxima CA * ² [VA]	3300	3680	4400	5500	6000	7700	8000
Corriente CA nominal [A]@230Vca	13.1	16.0	17.4	21.8* ³	26.1	30.5	34.8
Max. Corriente CA [A]	14.4	16.0	19.2	240	26.1	33.5	34.8
Tensión / intervalo nominal de CA [V]				220,230,240/180-280			
Frecuencia / intervalo de la red [Hz]				50,60/45-55,55-65			
Factor de potencia cos []				0.8 adel.-0.8 retr.			
Distorsión armónica total [THDi]				< 2% (a potencia nominal)			
Alimentación				L+N+PE			
Eficiencia							
Eficiencia máxima	97.8%	98.0%	98.0%	98.1%	98.2%	98.2%	98.3%
Eficiencia (Euro)	97.2%	97.5%	97.5%	97.6%	97.6%	97.7%	97.8%
Eficiencia MPPT				>99.9%			

Ilustración 199. Propiedades del inversor fotovoltaico SAJ Serie R5-S2 (Fuente: Salvador Escoda)

[Energía Solar Fotovoltaica - Tarifa de Precios \(salvadorescoda.com\)](http://salvadorescoda.com) (p31)

8.3. ANEXO III. TABLAS, CÁLCULOS Y DOCUMENTOS DE INTERÉS

En este apartado del Anexo se va a recoger todo el material de interés en forma de tablas, gráficos o documentos importantes para el desarrollo de este trabajo. Además, también se recogen algunas de las metodologías y cálculos desarrollados a lo largo del TFG y que son utilizados de manera recurrente en este TFM.

8.3.1. DOCUMENTOS DE INTERÉS



NOTA INFORMATIVA CONSUMO AGUA

RECIBO 33081 FECHA 31/05/2022
PERIODO 01/05/2022 a 31/05/2022
DOMICILIO DE PAGO: BANCO
CONTADOR N°
FECHA DE COBRO: 13/06/2022 DIAMETRO 0 m/m

LECTURA CONTADOR	LECTURA ACTUAL	M3 CONSUMIDOS
ANTERIOR 30/04/2022	FECHA: 31/05/2022	TOTALES
2.567	2.788	221

<u>TIPO DE BLOQUE</u>	<u>M3/BLOQUE</u>	<u>PRECIO € M3</u>	<u>COSTE € /BLOQUE</u>
1.- De 0 hasta 50 m3	50	0,47 €/m3	23,50 €
2.- De 51 a 221	171	0,61 €/m3	104,31 €
3.- De	0	1,20 €/m3	0,00 €
4.-	0	2,11 €/m3	0,00 €
TOTAL CONSUMO	221		127,81 €
CUOTA FIJA:			11,25 €
	IMPORTE A PAGAR:		139,06 €

Ilustración 200. Factura de agua correspondiente al mes de mayo 22. (Fuente: Urbanización de Montepríncipe)



Aldro Energía y soluciones, S.L.
CIF: B-39793294
Domicilio social: Avda. Palencia 1, bajo 1 - 39300 Torrelavega, Cantabria.

DATOS DE FACTURA DE GAS

IMPORTE FACTURA: 1.552,53 €
Nº de factura: G22ES-00046000
Periodo de consumo: 17/11/2021 a 18/01/2022
Fecha de factura : 21/02/2022
Fecha de cargo: 28/02/2022

FACTURA RESUMEN

Por término fijo:	136,9989 €
Por energía consumida:	1.001,4102 €
Cuota del gts	3,9700 €
Tasa cnme	0,5600 €
Regularización termino fijo gas	76,7000 €
Impuesto hidrocarburos:	54,0563 €
Alquiler equipos de medida y control:	1,2400 €
Canon irc gas	8,1400 €
Impuesto aplicado:	269,45 €
TOTAL IMPORTE FACTURA	1.552,53 €

28660 BOADILLA DEL MONTE, MADRID

¿Son correctos sus datos personales?
Puede actualizarlos online en su Oficina Virtual de la web entrando en <https://aldroenergia.com/>

Observaciones: La presente factura contiene una regularización del término fijo de su tarifa de acceso aplicada desde 01/10/2021.

INFORMACIÓN DEL CONSUMO DE GAS

	Medidor 1	
Lectura anterior (16-11-2021)	35.515 m³	
Lectura actual (Real) (18-01-2022)	37.712 m³	
Consumo (m³)	2.197 m³	23.101,00 kWh

Los kWh resultan de multiplicar los m³ por el factor de conversión de referencia del periodo (10,5147929)

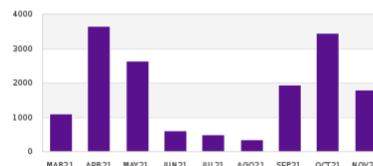


Ilustración 201. Factura de gas correspondiente al período Nov21 - Ene22 (Fuente: Aldo Energía)



Aldro Energía S.L.
CIF: B39793294
Domicilio social: Avda. Palencia nº1 bajo 39300 Torrelavega (Cantabria)

DATOS DE FACTURA DE ELECTRICIDAD

IMPORTE FACTURA: 745,29 €
Nº de factura: F22ES-01597646
Periodo de consumo: 23/05/2022 a 22/06/2022
Fecha de factura : 28/06/2022
Fecha de cargo: 05/07/2022

FACTURA RESUMEN

Por potencia contratada:	13,0757 €
Por energía consumida:	600,4062 €
Gasto de gestión	1,7753 €
Compensación en base al rel 10/2022	57,3583 €
Impuesto electricidad:	3,3542 €
Alquiler equipos de medida y control:	1,3861 €
Impuesto aplicado:	67,93 €
TOTAL IMPORTE FACTURA	745,29 €

28660 BOADILLA DEL MONTE, MADRID

¿Son correctos sus datos personales?
Puede actualizarlos online en su Oficina Virtual de la web entrando en <https://eniplenitude.es/>

Observaciones: La presente factura rectifica su factura F22ES-01520113 de 21/06/2022.

INFORMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

	Consumo en el periodo P1	Consumo en el periodo P2	Consumo en el periodo P3
Lectura anterior (Telegestión) (22-05-2022)	48.177,00 kWh	55.361,00 kWh	12.588,00 kWh
Lectura actual (Telegestión) (22-06-2022)	48.655,00 kWh	55.907,00 kWh	13.957,00 kWh
Consumo en el periodo	478,00 kWh	546,00 kWh	1.369,00 kWh

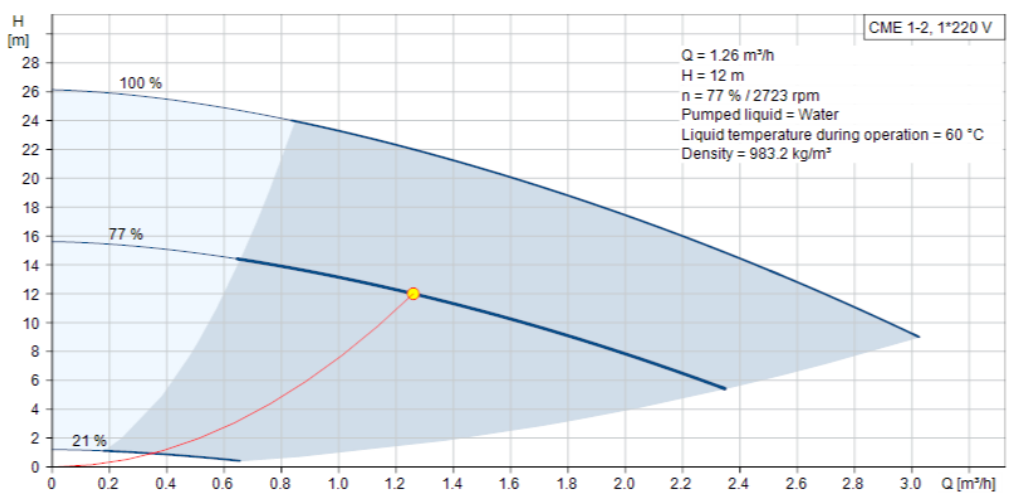


Ilustración 202. Factura de Electricidad correspondiente al período May22- Jun22 (Fuente: Plenitude)

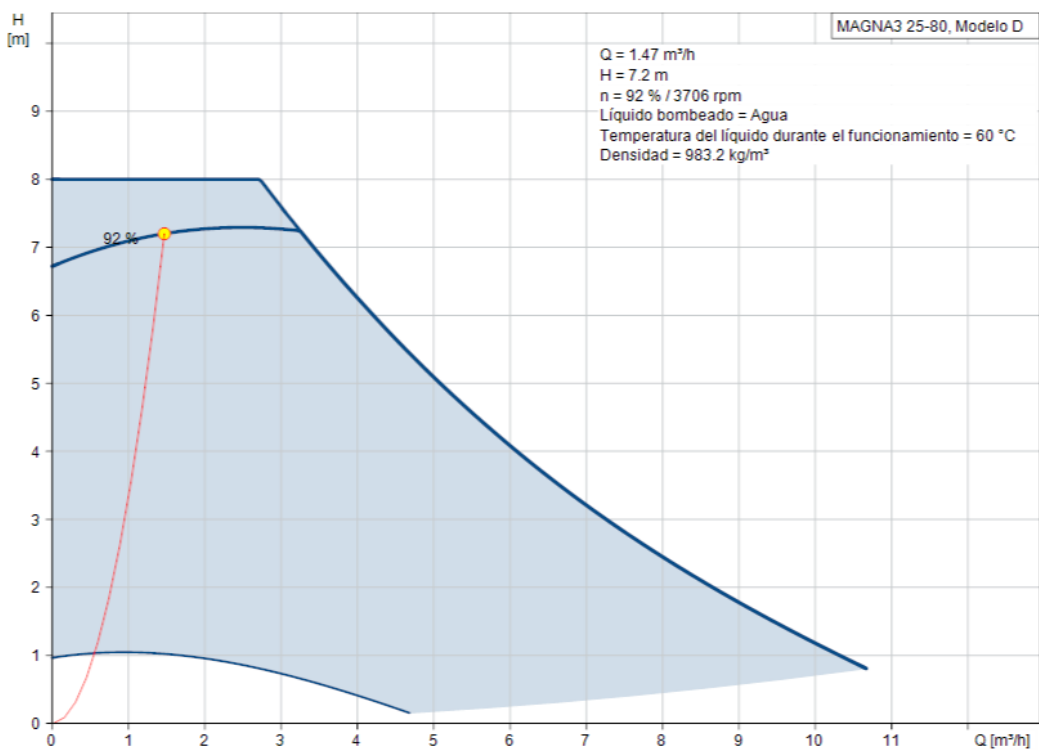
8.3.2. TABLAS Y GRÁFICOS DE INTERÉS

8.3.2.1. Tablas que provienen del TFG

Tabla 70. Resumen del dimensionamiento de las bombas hidráulicas durante el TFG. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

RED PRINCIPAL DE ACS		
<i>Necesidades de la red</i>		
Caudal Crítico	Altura Manométrica	Temperatura del Líquido
1,26 m ³ /h	12 m	45 – 60 °C
<i>Características de la bomba elegida</i>		
Nombre	Función	Rango de Temperaturas
Grundfos CME 1-2 A	Aumento de Presión Doméstico	-20 – 90 °C
		
<i>Conclusiones</i>		
<p>La bomba Grundfos CME 1-2 está perfectamente capacitada para hacer frente a la demanda máxima solicitada por la red, solventando así los problemas de presión existentes en la red. En su punto más crítico, estaría trabajando al 77 % de su velocidad nominal. No obstante, dado que es una bomba de alta eficiencia, se adaptará en todo momento a la demanda exigida.</p>		

RED DE RECIRCULACIÓN ACS		
<i>Necesidades de la red</i>		
Caudal Crítico	Altura Manométrica	Temperatura del Líquido
0,14 m ³ /h	Muy Baja	45 – 60 °C
<i>Características de la bomba elegida</i>		
Nombre	Función	Rango de Temperaturas
Grundfos COMFORT 15-14 B PM	Recirculación de agua	20 – 95 °C
<i>Conclusiones</i>		
<p>Dado que se trata de un circuito con unas necesidades, tanto de caudal, como de altura muy reducidos, la bomba está perfectamente capacitada para hacer frente a la demanda, que es muy uniforme (aproximadamente el 10 % del caudal de la red principal).</p>		

RED DE CALEFACCIÓN		
<i>Necesidades de la red</i>		
Caudal Crítico	Altura Manométrica	Temperatura del Líquido
1,47 m ³ /h	7,2 m	60 – 70 °C
<i>Características de la bomba elegida</i>		
Nombre	Función	Rango de Temperaturas
Grundfos Magna3 25-80 180 (Imán Permanente)	Calefacción doméstica e industrial.	20 – 95 °C
		
<i>Conclusiones</i>		
<p>La decisión de cambiar esta bomba ha sido más un tema de climatización que de bombeo en sí. No obstante, es una bomba perfectamente capacitada para dar el caudal y la altura máxima requeridas, trabajando al 92 % de su velocidad nominal. Como cuenta con imán permanente que permite ajustar la demanda instantánea en todo momento, se concluye que la bomba es ideal para el puesto.</p>		

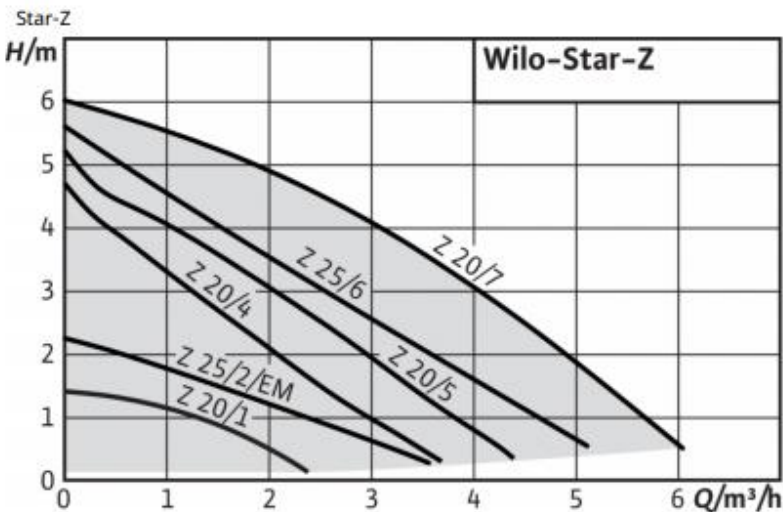
RED CIRCUITO DEPÓSITO		
<i>Necesidades de la red</i>		
Caudal Crítico	Altura Manométrica	Temperatura del Líquido
1 – 4 m ³ /h	Muy Baja	60 – 70 °C
<i>Características de la bomba elegida</i>		
Nombre	Función	Rango de Temperaturas
Wilo LARS 25/6 3P	Circulación en sistemas industriales.	-25 – 110 °C
 <p>The graph shows the performance of several Wilo-Star-Z pump models. The y-axis represents head (H/m) from 0 to 6, and the x-axis represents flow rate (Q/m³/h) from 0 to 6. The models shown are Z 20/4, Z 25/6, Z 20/7, Z 25/2/EM, Z 20/5, and Z 20/1. The Z 25/6 model is highlighted as the most suitable for the application.</p>		
<i>Conclusiones</i>		
<p>Aunque la gráfica de la ilustración no es exactamente la de la bomba en cuestión, según una fuente dentro de la empresa Wilo, la Wilo-Star-Z 25/6 tiene unas características muy parecidas. Teniendo en cuenta las necesidades del circuito, y el hecho de que, encima, la Wilo LARS tiene otras tres velocidades menores para adaptarse a la perfección a la demanda, la red está perfectamente dimensionada.</p>		

Tabla 71. Dimensionamiento y presupuesto de los radiadores de la vivienda. (Fuente: Trabajo de Fin de Grado)

RECIBIDOR				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	1	Sur		
Potencia Unitaria (W/m ²)			16,61	1245,75
75				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N61-4	16	1227,20	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	600 C	14	1248,80	242,06
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
1248,80			242,06	
CUARTO DE ESTAR				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	1	Sur		
Potencia Unitaria (W/m ²)			16,79	1259,25
75				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N46-4	23	1357,00	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)

1	700 C*	13	1328,60	271,96
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
2577,40			514,02	
HABITACIÓN 1				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	2	Norte		
Potencia Unitaria (W/m ²)			12,89	1327,67
103				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N61-4	23	1764,10	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	700 C*	13	1328,60	271,96
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
3906,00			785,98	
HABITACIÓN 2				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	2	Este		
Potencia Unitaria (W/m ²)			13,10	1205,20
92				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N61-4	21	1610,70	

<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	600 C	14	1248,80	242,06
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
5154,80			1028,04	
BAÑO 1				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	1	Este	6,80	557,6
Potencia Unitaria (W/m ²)				
82				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N61-4	12	920,40	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	600 C	7	624,40	121,03
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
5779,20			1149,07	
BAÑO 2				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	1	Norte	4,75	437,00
Potencia Unitaria (W/m ²)				
92				
<i>Instalación Actual</i>				

Javier Ros Martín
ANEXOS

Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N61-4	9	690,30	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	600 C	5	446,00	86,45
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
6225,20			1235,52	
COCINA				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
1	2	Norte		
Potencia Unitaria (W/m ²)			39,91	4110,73
103				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
3	N61-4	54	4141,80	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
2	600 C	28	2497,60	484,12
1	800 C*	14	1646,40	330,12
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
10369,20			2049,76	
SALÓN				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie	

Javier Ros Martín
ANEXOS

1	2	Norte	(m ²)	Potencia Necesaria (W)
Potencia Unitaria (W/m ²)			101,76	10481,28
103				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
4	N61-4	94	7209,80	
2	N95-4	20	2352,00	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
2	600 C	28	2497,60	484,12
5	800 C*	68	7996,80	1603,44
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
20863,60			4137,32	
HABITACIÓN 3				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	2	Norte		
Potencia Unitaria (W/m ²)			21,18	2393,34
113				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N80-4	16	1595,2	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
2	700 C	24	2452,80	502,08
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	

23316,40			4639,40	
BAÑO 3				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	2	Norte		
Potencia Unitaria (W/m ²)			6,30	711,90
113				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
-	-	-	-	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	700 C	7	715,40	146,44
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
24031,80			4785,84	
BAÑO 4				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	1	Este		
Potencia Unitaria (W/m ²)			7,13	641,70
90				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N46-4	8	472	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)

1	700 C**	7	715,40	146,44
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
24747,20			4932,28	
HABITACIÓN 4				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	2	Este		
Potencia Unitaria (W/m ²)			16,72	1688,72
101				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N46-4	30	1770,00	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
2	450 C	26	1744,6	437,84
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
26491,80			5370,12	
HABITACIÓN 5				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	1	Sur		
Potencia Unitaria (W/m ²)			13,83	1147,89
83				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N46-4	26	1534,00	

<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	600 C*	13	1159,60	224,77
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
27651,40			5594,89	
HABITACIÓN 6				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	1	Sur		
Potencia Unitaria (W/m ²)			16,28	1351,24
83				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N80-4	20	1994,00	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	700 C	14	1430,8	292,88
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
29082,20			5887,77	
ESTUDIO				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	2	Oeste		
Potencia Unitaria (W/m ²)			22,10	2232,10
101				
<i>Instalación Actual</i>				

Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N95-4	24	2822,40	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
2	800 C	19	2234,40	448,02
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
31316,60			6335,79	
HABITACIÓN 7				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	2	Norte		
Potencia Unitaria (W/m ²)			19,60	2214,80
113				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N46-4	36	2124,00	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
2	600 C*	25	2230,00	432,25
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
33546,60			6768,04	
BAÑO 5				
<i>Necesidad</i>				
Planta	Fachadas	Orientación	Superficie (m ²)	Potencia Necesaria (W)
2	1	Norte		

Javier Ros Martín
ANEXOS

Potencia Unitaria (W/m ²)		7,00	707.00	
101				
<i>Instalación Actual</i>				
Número actual de Radiadores	Modelo Existente	Número de Elementos	Potencia Actual (W)	
1	N61-4	11	843,70	
<i>Dimensionamiento</i>				
Radiadores	Modelo	Número de Elementos	Potencia Total (W)	Precio (€)
1	600 C	8	713,60	138,32
<i>Acumulado</i>				
Potencia Acumulada (W)			Precio Acumulado (€)	
34260,20			6906,36	

8.3.2.2. Tablas del TFM

8.3.2.2.1. *Tablas de dimensionado Escenario 0 en materia fotovoltaica*

Tabla 72. Energía producida en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)

Energía producida para cada una de las 12 potencias pico												
N	27	23	24	21	22	25	15	13	24	22	32	32
<i>Ene</i>	1.562,43	1.330,96	1.388,83	1.215,22	1.273,09	1.446,70	868,02	752,28	1.388,83	1.273,09	1.851,77	1.851,77
<i>Feb</i>	1.807,65	1.539,85	1.606,80	1.405,95	1.472,90	1.673,75	1.004,25	870,35	1.606,80	1.472,90	2.142,40	2.142,40
<i>Mar</i>	2.029,81	1.729,10	1.804,27	1.578,74	1.653,92	1.879,45	1.127,67	977,32	1.804,27	1.653,92	2.405,70	2.405,70
<i>Abr</i>	1.989,18	1.694,49	1.768,16	1.547,14	1.620,81	1.841,83	1.105,10	957,75	1.768,16	1.620,81	2.357,54	2.357,54
<i>May</i>	2.463,67	2.098,68	2.189,93	1.916,19	2.007,43	2.281,18	1.368,71	1.186,21	2.189,93	2.007,43	2.919,91	2.919,91
<i>Jun</i>	2.486,22	2.117,89	2.209,97	1.933,73	2.025,81	2.302,06	1.381,23	1.197,07	2.209,97	2.025,81	2.946,63	2.946,63
<i>Jul</i>	2.706,79	2.305,78	2.406,03	2.105,28	2.205,53	2.506,28	1.503,77	1.303,27	2.406,03	2.205,53	3.208,04	3.208,04
<i>Ago</i>	2.616,51	2.228,88	2.325,78	2.035,06	2.131,97	2.422,69	1.453,62	1.259,80	2.325,78	2.131,97	3.101,05	3.101,05
<i>Sep</i>	2.285,99	1.947,32	2.031,99	1.777,99	1.862,66	2.116,66	1.269,99	1.100,66	2.031,99	1.862,66	2.709,32	2.709,32
<i>Oct</i>	1.879,81	1.601,32	1.670,94	1.462,07	1.531,70	1.740,56	1.044,34	905,09	1.670,94	1.531,70	2.227,92	2.227,92
<i>Nov</i>	1.258,43	1.072,00	1.118,60	978,78	1.025,39	1.165,21	699,13	605,91	1.118,60	1.025,39	1.491,47	1.491,47
<i>Dic</i>	1.314,61	1.119,85	1.168,54	1.022,47	1.071,16	1.217,23	730,34	632,96	1.168,54	1.071,16	1.558,06	1.558,06
	24.401,09	20.786,11	21.689,86	18.978,62	19.882,37	22.593,60	13.556,16	11.748,67	21.689,86	19.882,37	28.919,81	28.919,81

Tabla 73. Energía consumida por la red en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)

Energía consumida por la red para cada una de las 12 potencias pico												
N	27	23	24	21	22	25	15	13	24	22	32	32
<i>Ene</i>	533,75	533,75	533,75	533,75	533,75	533,75	656,98	772,72	533,75	533,75	533,75	533,75
<i>Feb</i>	526,75	526,75	526,75	526,75	526,75	526,75	526,75	634,65	526,75	526,75	526,75	526,75
<i>Mar</i>	525,00	525,00	525,00	525,00	525,00	525,00	622,33	772,68	525,00	525,00	525,00	525,00
<i>Abr</i>	377,50	377,50	377,50	377,50	377,50	377,50	404,90	552,25	377,50	377,50	377,50	377,50
<i>May</i>	398,00	398,00	398,00	398,00	398,00	398,00	621,29	803,79	398,00	398,00	398,00	398,00
<i>Jun</i>	230,00	230,00	230,00	366,27	274,19	230,00	918,77	1.102,93	230,00	274,19	230,00	230,00
<i>Jul</i>	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50	142,50
<i>Ago</i>	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
<i>Sep</i>	292,50	292,50	292,50	292,50	292,50	292,50	680,01	849,34	292,50	292,50	292,50	292,50
<i>Oct</i>	373,75	373,75	373,75	373,75	373,75	373,75	450,66	589,91	373,75	373,75	373,75	373,75
<i>Nov</i>	447,00	447,00	447,00	511,22	464,61	447,00	790,87	884,09	447,00	464,61	447,00	447,00
<i>Dic</i>	528,50	528,50	528,50	528,50	528,50	528,50	779,66	877,04	528,50	528,50	528,50	528,50
	4.500,25	4.500,25	4.500,25	4.700,74	4.562,05	4.500,25	6.719,72	8.106,90	4.500,25	4.562,05	4.500,25	4.500,25

Tabla 74. Excedentes en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)

Excedentes para cada una de las 12 potencias pico												
N	27	23	24	21	22	25	15	13	24	22	32	32
<i>Ene</i>	571,18	339,71	397,58	223,97	281,84	455,45	0,00	0,00	397,58	281,84	860,52	860,52
<i>Feb</i>	829,40	561,60	628,55	427,70	494,65	695,50	26,00	0,00	628,55	494,65	1.164,15	1.164,15
<i>Mar</i>	804,81	504,10	579,27	353,74	428,92	654,45	0,00	0,00	579,27	428,92	1.180,70	1.180,70
<i>Abr</i>	856,68	561,99	635,66	414,64	488,31	709,33	0,00	0,00	635,66	488,31	1.225,04	1.225,04
<i>May</i>	871,67	506,68	597,93	324,19	415,43	689,18	0,00	0,00	597,93	415,43	1.327,91	1.327,91
<i>Jun</i>	416,22	47,89	139,97	0,00	0,00	232,06	0,00	0,00	139,97	0,00	876,63	876,63
<i>Jul</i>	1.424,29	1.023,28	1.123,53	822,78	923,03	1.223,78	221,27	20,77	1.123,53	923,03	1.925,54	1.925,54
<i>Ago</i>	1.491,51	1.103,88	1.200,78	910,06	1.006,97	1.297,69	328,62	134,80	1.200,78	1.006,97	1.976,05	1.976,05
<i>Sep</i>	628,49	289,82	374,49	120,49	205,16	459,16	0,00	0,00	374,49	205,16	1.051,82	1.051,82
<i>Oct</i>	758,56	480,07	549,69	340,82	410,45	619,31	0,00	0,00	549,69	410,45	1.106,67	1.106,67
<i>Nov</i>	215,43	29,00	75,60	0,00	0,00	122,21	0,00	0,00	75,60	0,00	448,47	448,47
<i>Dic</i>	333,11	138,35	187,04	40,97	89,66	235,73	0,00	0,00	187,04	89,66	576,56	576,56
	9.201,34	5.586,36	6.490,11	3.979,37	4.744,42	7.393,85	575,88	155,57	6.490,11	4.744,42	13.720,06	13.720,06

Tabla 75. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario 0. (Fuente: Elaboración propia)

Término de energía mensual para cada una de las 12 potencias pico												
N	27	23	24	21	22	25	15	13	24	22	32	32
Ene	51,50 €	63,08 €	60,18 €	68,86 €	65,97 €	57,29 €	98,55 €	115,91 €	60,18 €	65,97 €	37,04 €	37,04 €
Feb	37,54 €	50,93 €	47,59 €	57,63 €	54,28 €	44,24 €	77,71 €	95,20 €	47,59 €	54,28 €	20,81 €	20,81 €
Mar	38,51 €	53,55 €	49,79 €	61,06 €	57,30 €	46,03 €	93,35 €	115,90 €	49,79 €	57,30 €	19,72 €	19,72 €
Abr	13,79 €	28,53 €	24,84 €	35,89 €	32,21 €	21,16 €	60,74 €	82,84 €	24,84 €	32,21 €	0,00 €	0,00 €
May	16,12 €	34,37 €	29,80 €	43,49 €	38,93 €	25,24 €	93,19 €	120,57 €	29,80 €	38,93 €	0,00 €	0,00 €
Jun	13,69 €	32,11 €	27,50 €	54,94 €	41,13 €	22,90 €	137,81 €	165,44 €	27,50 €	41,13 €	0,00 €	0,00 €
Jul	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	10,31 €	20,34 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ago	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	2,32 €	12,01 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Sep	12,45 €	29,38 €	25,15 €	37,85 €	33,62 €	20,92 €	102,00 €	127,40 €	25,15 €	33,62 €	0,00 €	0,00 €
Oct	18,13 €	32,06 €	28,58 €	39,02 €	35,54 €	25,10 €	67,60 €	88,49 €	28,58 €	35,54 €	0,73 €	0,73 €
Nov	56,28 €	65,60 €	63,27 €	76,68 €	69,69 €	60,94 €	118,63 €	132,61 €	63,27 €	69,69 €	44,63 €	44,63 €
Dic	62,62 €	72,36 €	69,92 €	77,23 €	74,79 €	67,49 €	116,95 €	131,56 €	69,92 €	74,79 €	50,45 €	50,45 €
	320,64 €	461,95 €	426,62 €	552,66 €	503,46 €	391,29 €	979,16 €	1.208,26 €	426,62 €	503,46 €	173,36 €	173,36 €

8.3.2.2.2. *Tablas de dimensionado Escenario I en materia fotovoltaica*

Tabla 76. Energía producida en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Energía producida para cada una de las 12 potencias pico												
N	78	63	56	42	29	30	28	29	32	37	69	87
<i>Ene</i>	4.513,69	3.645,67	3.240,60	2.430,45	1.678,17	1.736,04	1.620,30	1.678,17	1.851,77	2.141,11	3.992,88	5.034,50
<i>Feb</i>	5.222,09	4.217,84	3.749,20	2.811,90	1.941,55	2.008,50	1.874,60	1.941,55	2.142,40	2.477,15	4.619,54	5.824,64
<i>Mar</i>	5.863,89	4.736,22	4.209,97	3.157,48	2.180,16	2.255,34	2.104,99	2.180,16	2.405,70	2.781,59	5.187,29	6.540,49
<i>Abr</i>	5.746,52	4.641,42	4.125,70	3.094,28	2.136,53	2.210,20	2.062,85	2.136,53	2.357,54	2.725,91	5.083,46	6.409,58
<i>May</i>	7.117,27	5.748,56	5.109,83	3.832,38	2.646,16	2.737,41	2.554,92	2.646,16	2.919,91	3.376,14	6.296,05	7.938,49
<i>Jun</i>	7.182,41	5.801,18	5.156,61	3.867,45	2.670,38	2.762,47	2.578,30	2.670,38	2.946,63	3.407,04	6.353,67	8.011,15
<i>Jul</i>	7.819,61	6.315,84	5.614,08	4.210,56	2.907,29	3.007,54	2.807,04	2.907,29	3.208,04	3.709,30	6.917,34	8.721,87
<i>Ago</i>	7.558,80	6.105,18	5.426,83	4.070,12	2.810,32	2.907,23	2.713,42	2.810,32	3.101,05	3.585,58	6.686,63	8.430,97
<i>Sep</i>	6.603,97	5.333,97	4.741,31	3.555,98	2.455,32	2.539,99	2.370,65	2.455,32	2.709,32	3.132,65	5.841,97	7.365,96
<i>Oct</i>	5.430,56	4.386,22	3.898,86	2.924,15	2.019,05	2.088,68	1.949,43	2.019,05	2.227,92	2.576,03	4.803,96	6.057,16
<i>Nov</i>	3.635,46	2.936,33	2.610,07	1.957,56	1.351,65	1.398,25	1.305,04	1.351,65	1.491,47	1.724,51	3.215,99	4.054,94
<i>Dic</i>	3.797,76	3.067,42	2.726,60	2.044,95	1.411,99	1.460,68	1.363,30	1.411,99	1.558,06	1.801,50	3.359,56	4.235,97
	70.492,03	56.935,87	50.609,66	37.957,25	26.208,58	27.112,32	25.304,83	26.208,58	28.919,81	33.438,53	62.358,34	78.625,73

Tabla 77. Energía consumida por la red en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Energía consumida por la red para cada una de las 12 potencias pico												
N	78	63	56	42	29	30	28	29	32	37	69	87
Ene	670,15	821,97	1.227,04	2.037,19	2.789,47	2.731,60	2.847,34	2.789,47	2.615,87	2.326,53	670,15	670,15
Feb	629,17	629,17	629,17	1.382,54	2.252,89	2.185,94	2.319,84	2.252,89	2.052,04	1.717,29	629,17	629,17
Mar	838,89	838,89	838,89	1.036,96	2.014,27	1.939,10	2.089,45	2.014,27	1.788,74	1.412,85	838,89	838,89
Abr	771,45	771,45	771,45	771,45	949,27	875,60	1.022,95	949,27	771,45	771,45	771,45	771,45
May	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24	511,24
Jun	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47	406,47
Jul	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61
Ago	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61	273,61
Sep	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41	401,41
Oct	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87	632,87
Nov	481,58	481,58	600,45	1.252,97	1.858,88	1.812,27	1.905,48	1.858,88	1.719,05	1.486,01	481,58	481,58
Dic	629,17	1.127,01	1.467,84	2.149,49	2.782,45	2.733,76	2.831,14	2.782,45	2.636,38	2.392,94	834,88	629,17
	6.519,60	7.169,27	8.034,04	11.129,81	15.146,45	14.777,48	15.515,41	15.146,45	14.082,74	12.606,27	6.725,32	6.519,60

Tabla 78. Excedentes en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Excedentes para cada una de las 12 potencias pico												
N	78	63	56	42	29	30	28	29	32	37	69	87
<i>Ene</i>	716,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	195,39	1.237,01
<i>Feb</i>	1.656,82	652,57	183,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.054,27	2.259,37
<i>Mar</i>	2.508,34	1.380,67	854,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.831,74	3.184,94
<i>Abr</i>	3.432,17	2.327,07	1.811,35	779,93	0,00	0,00	0,00	0,00	43,20	411,56	2.769,11	4.095,23
<i>May</i>	5.072,33	3.703,62	3.064,89	1.787,43	601,22	692,47	509,97	601,22	874,96	1.331,20	4.251,10	5.893,55
<i>Jun</i>	4.879,07	3.497,83	2.853,26	1.564,11	367,04	459,12	274,96	367,04	643,29	1.103,70	4.050,33	5.707,81
<i>Jul</i>	5.357,13	3.853,36	3.151,60	1.748,08	444,81	545,06	344,56	444,81	745,56	1.246,82	4.454,86	6.259,39
<i>Ago</i>	5.096,32	3.642,70	2.964,35	1.607,64	347,84	444,75	250,94	347,84	638,57	1.123,10	4.224,15	5.968,49
<i>Sep</i>	4.329,30	3.059,30	2.466,64	1.281,31	180,65	265,32	95,99	180,65	434,65	857,98	3.567,30	5.091,29
<i>Oct</i>	3.531,95	2.487,61	2.000,25	1.025,54	120,44	190,07	50,82	120,44	329,31	677,42	2.905,35	4.158,55
<i>Nov</i>	906,52	207,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	487,04	1.325,99
<i>Dic</i>	232,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	670,69
	37.718,62	24.812,13	19.350,69	9.794,04	2.062,01	2.596,79	1.527,23	2.062,01	3.709,53	6.751,79	29.790,64	45.852,32

Tabla 79. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario I. (Fuente: Elaboración propia)

Término de energía mensual para cada una de las 12 potencias pico												
N	78	63	56	42	29	30	28	29	32	37	69	87
Ene	64,71 €	123,29 €	184,06 €	305,58 €	418,42 €	409,74 €	427,10 €	418,42 €	392,38 €	348,98 €	90,75 €	38,67 €
Feb	11,53 €	61,75 €	85,18 €	207,38 €	337,93 €	327,89 €	347,98 €	337,93 €	307,81 €	257,59 €	41,66 €	0,00 €
Mar	0,42 €	56,80 €	83,11 €	155,54 €	302,14 €	290,86 €	313,42 €	302,14 €	268,31 €	211,93 €	34,25 €	0,00 €
Abr	0,00 €	0,00 €	25,15 €	76,72 €	142,39 €	131,34 €	153,44 €	142,39 €	113,56 €	95,14 €	0,00 €	0,00 €
May	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	46,62 €	42,06 €	51,19 €	46,62 €	32,94 €	10,13 €	0,00 €	0,00 €
Jun	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	42,62 €	38,01 €	47,22 €	42,62 €	28,81 €	5,79 €	0,00 €	0,00 €
Jul	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	18,80 €	13,79 €	23,81 €	18,80 €	3,76 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ago	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	23,65 €	18,80 €	28,49 €	23,65 €	9,11 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Sep	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	51,18 €	46,95 €	55,41 €	51,18 €	38,48 €	17,31 €	0,00 €	0,00 €
Oct	0,00 €	0,00 €	0,00 €	43,65 €	88,91 €	85,43 €	92,39 €	88,91 €	78,46 €	61,06 €	0,00 €	0,00 €
Nov	26,91 €	61,87 €	90,07 €	187,94 €	278,83 €	271,84 €	285,82 €	278,83 €	257,86 €	222,90 €	47,88 €	5,94 €
Dic	82,75 €	169,05 €	220,18 €	322,42 €	417,37 €	410,06 €	424,67 €	417,37 €	395,46 €	358,94 €	125,23 €	60,84 €
	186,32 €	472,76 €	687,74 €	1.299,25 €	2.168,87 €	2.086,78 €	2.250,95 €	2.168,87 €	1.926,93 €	1.589,77 €	339,78 €	105,45 €

8.3.2.2.3. *Tablas de dimensionado Escenario II en materia fotovoltaica*

Tabla 80. Energía producida en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Energía producida para cada una de las 12 potencias pico												
N	30	26	23	24	23	26	25	25	25	25	37	35
<i>Ene</i>	1.736,04	1.504,56	1.330,96	1.388,83	1.330,96	1.504,56	1.446,70	1.446,70	1.446,70	1.446,70	2.141,11	2.025,37
<i>Feb</i>	2.008,50	1.740,70	1.539,85	1.606,80	1.539,85	1.740,70	1.673,75	1.673,75	1.673,75	1.673,75	2.477,15	2.343,25
<i>Mar</i>	2.255,34	1.954,63	1.729,10	1.804,27	1.729,10	1.954,63	1.879,45	1.879,45	1.879,45	1.879,45	2.781,59	2.631,23
<i>Abr</i>	2.210,20	1.915,51	1.694,49	1.768,16	1.694,49	1.915,51	1.841,83	1.841,83	1.841,83	1.841,83	2.725,91	2.578,56
<i>May</i>	2.737,41	2.372,42	2.098,68	2.189,93	2.098,68	2.372,42	2.281,18	2.281,18	2.281,18	2.281,18	3.376,14	3.193,65
<i>Jun</i>	2.762,47	2.394,14	2.117,89	2.209,97	2.117,89	2.394,14	2.302,06	2.302,06	2.302,06	2.302,06	3.407,04	3.222,88
<i>Jul</i>	3.007,54	2.606,54	2.305,78	2.406,03	2.305,78	2.606,54	2.506,28	2.506,28	2.506,28	2.506,28	3.709,30	3.508,80
<i>Ago</i>	2.907,23	2.519,60	2.228,88	2.325,78	2.228,88	2.519,60	2.422,69	2.422,69	2.422,69	2.422,69	3.585,58	3.391,77
<i>Sep</i>	2.539,99	2.201,32	1.947,32	2.031,99	1.947,32	2.201,32	2.116,66	2.116,66	2.116,66	2.116,66	3.132,65	2.963,32
<i>Oct</i>	2.088,68	1.810,19	1.601,32	1.670,94	1.601,32	1.810,19	1.740,56	1.740,56	1.740,56	1.740,56	2.576,03	2.436,79
<i>Nov</i>	1.398,25	1.211,82	1.072,00	1.118,60	1.072,00	1.211,82	1.165,21	1.165,21	1.165,21	1.165,21	1.724,51	1.631,30
<i>Dic</i>	1.460,68	1.265,92	1.119,85	1.168,54	1.119,85	1.265,92	1.217,23	1.217,23	1.217,23	1.217,23	1.801,50	1.704,12
	27.112,32	23.497,34	20.786,11	21.689,86	20.786,11	23.497,34	22.593,60	22.593,60	22.593,60	22.593,60	33.438,53	31.631,04

Tabla 81. Energía consumida por la red en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Energía consumida por la red para cada una de las 12 potencias pico												
N	30	26	23	24	23	26	25	25	25	25	37	35
Ene	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00
Feb	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00
Mar	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00
Abr	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00
May	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54	411,54
Jun	239,23	239,23	274,42	239,23	274,42	239,23	239,23	239,23	239,23	239,23	239,23	239,23
Jul	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54
Ago	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54	241,54
Sep	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92	306,92
Oct	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00
Nov	510,00	510,00	628,00	581,40	628,00	510,00	534,79	534,79	534,79	534,79	510,00	510,00
Dic	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00	595,00
	5.095,77	5.095,77	5.248,96	5.167,17	5.248,96	5.095,77	5.120,56	5.120,56	5.120,56	5.120,56	5.095,77	5.095,77

Tabla 82. Excedentes en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Excedentes para cada una de las 12 potencias pico												
N	30	26	23	24	23	26	25	25	25	25	37	35
<i>Ene</i>	631,04	399,56	225,96	283,83	225,96	399,56	341,70	341,70	341,70	341,70	1.036,11	920,37
<i>Feb</i>	903,50	635,70	434,85	501,80	434,85	635,70	568,75	568,75	568,75	568,75	1.372,15	1.238,25
<i>Mar</i>	1.065,34	764,63	539,10	614,27	539,10	764,63	689,45	689,45	689,45	689,45	1.591,59	1.441,23
<i>Abr</i>	935,20	640,51	419,49	493,16	419,49	640,51	566,83	566,83	566,83	566,83	1.450,91	1.303,56
<i>May</i>	1.091,26	726,27	452,53	543,78	452,53	726,27	635,02	635,02	635,02	635,02	1.729,99	1.547,49
<i>Jun</i>	609,39	241,06	0,00	56,90	0,00	241,06	148,98	148,98	148,98	148,98	1.253,97	1.069,80
<i>Jul</i>	833,69	432,69	131,94	232,19	131,94	432,69	332,44	332,44	332,44	332,44	1.535,45	1.334,95
<i>Ago</i>	733,38	345,75	55,03	151,94	55,03	345,75	248,85	248,85	248,85	248,85	1.411,74	1.217,92
<i>Sep</i>	800,76	462,09	208,09	292,76	208,09	462,09	377,43	377,43	377,43	377,43	1.393,42	1.224,09
<i>Oct</i>	813,68	535,19	326,32	395,94	326,32	535,19	465,56	465,56	465,56	465,56	1.301,03	1.161,79
<i>Nov</i>	208,25	21,82	0,00	0,00	0,00	21,82	0,00	0,00	0,00	0,00	534,51	441,30
<i>Dic</i>	355,68	160,92	14,85	63,54	14,85	160,92	112,23	112,23	112,23	112,23	696,50	599,12
	8.981,17	5.366,19	2.808,15	3.630,10	2.808,15	5.366,19	4.487,23	4.487,23	4.487,23	4.487,23	15.307,37	13.499,89

Tabla 83. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario II. (Fuente: Elaboración propia)

Término de energía mensual para cada una de las 12 potencias pico												
N	30	26	23	24	23	26	25	25	25	25	37	35
Ene	57,70 €	69,27 €	77,95 €	75,06 €	77,95 €	69,27 €	72,17 €	72,17 €	72,17 €	72,17 €	37,44 €	43,23 €
Feb	44,08 €	57,47 €	67,51 €	64,16 €	67,51 €	57,47 €	60,81 €	60,81 €	60,81 €	60,81 €	20,64 €	27,34 €
Mar	23,23 €	38,27 €	49,55 €	45,79 €	49,55 €	38,27 €	42,03 €	42,03 €	42,03 €	42,03 €	0,00 €	4,44 €
Abr	16,99 €	31,72 €	42,78 €	39,09 €	42,78 €	31,72 €	35,41 €	35,41 €	35,41 €	35,41 €	0,00 €	0,00 €
May	7,17 €	25,42 €	39,10 €	34,54 €	39,10 €	25,42 €	29,98 €	29,98 €	29,98 €	29,98 €	0,00 €	0,00 €
Jun	5,42 €	23,83 €	41,16 €	33,04 €	41,16 €	23,83 €	28,44 €	28,44 €	28,44 €	28,44 €	0,00 €	0,00 €
Jul	0,00 €	14,60 €	29,63 €	24,62 €	29,63 €	14,60 €	19,61 €	19,61 €	19,61 €	19,61 €	0,00 €	0,00 €
Ago	0,00 €	18,94 €	33,48 €	28,63 €	33,48 €	18,94 €	23,79 €	23,79 €	23,79 €	23,79 €	0,00 €	0,00 €
Sep	6,00 €	22,93 €	35,63 €	31,40 €	35,63 €	22,93 €	27,17 €	27,17 €	27,17 €	27,17 €	0,00 €	0,00 €
Oct	23,07 €	36,99 €	47,43 €	43,95 €	47,43 €	36,99 €	40,47 €	40,47 €	40,47 €	40,47 €	0,00 €	5,66 €
Nov	66,09 €	75,41 €	94,20 €	87,21 €	94,20 €	75,41 €	80,22 €	80,22 €	80,22 €	80,22 €	49,77 €	54,44 €
Dic	71,47 €	81,20 €	88,51 €	86,07 €	88,51 €	81,20 €	83,64 €	83,64 €	83,64 €	83,64 €	54,42 €	59,29 €
	321,20 €	496,06 €	646,94 €	593,57 €	646,94 €	496,06 €	543,72 €	543,72 €	543,72 €	543,72 €	162,29 €	194,40 €

8.3.2.2.4. *Tablas de dimensionado Escenario III en materia fotovoltaica*

Tabla 84. Energía producida en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Energía producida para cada una de las 12 potencias pico												
N	69	57	50	39	27	28	26	27	30	35	64	78
<i>Ene</i>	3.992,88	3.298,47	2.893,39	2.256,85	1.562,43	1.620,30	1.504,56	1.562,43	1.736,04	2.025,37	3.703,54	4.513,69
<i>Feb</i>	4.619,54	3.816,15	3.347,50	2.611,05	1.807,65	1.874,60	1.740,70	1.807,65	2.008,50	2.343,25	4.284,79	5.222,09
<i>Mar</i>	5.187,29	4.285,15	3.758,90	2.931,95	2.029,81	2.104,99	1.954,63	2.029,81	2.255,34	2.631,23	4.811,40	5.863,89
<i>Abr</i>	5.083,46	4.199,38	3.683,66	2.873,26	1.989,18	2.062,85	1.915,51	1.989,18	2.210,20	2.578,56	4.715,09	5.746,52
<i>May</i>	6.296,05	5.201,08	4.562,35	3.558,63	2.463,67	2.554,92	2.372,42	2.463,67	2.737,41	3.193,65	5.839,81	7.117,27
<i>Jun</i>	6.353,67	5.248,69	4.604,11	3.591,21	2.486,22	2.578,30	2.394,14	2.486,22	2.762,47	3.222,88	5.893,26	7.182,41
<i>Jul</i>	6.917,34	5.714,33	5.012,57	3.909,80	2.706,79	2.807,04	2.606,54	2.706,79	3.007,54	3.508,80	6.416,09	7.819,61
<i>Ago</i>	6.686,63	5.523,74	4.845,38	3.779,40	2.616,51	2.713,42	2.519,60	2.616,51	2.907,23	3.391,77	6.202,09	7.558,80
<i>Sep</i>	5.841,97	4.825,98	4.233,31	3.301,98	2.285,99	2.370,65	2.201,32	2.285,99	2.539,99	2.963,32	5.418,64	6.603,97
<i>Oct</i>	4.803,96	3.968,49	3.481,13	2.715,28	1.879,81	1.949,43	1.810,19	1.879,81	2.088,68	2.436,79	4.455,84	5.430,56
<i>Nov</i>	3.215,99	2.656,68	2.330,42	1.817,73	1.258,43	1.305,04	1.211,82	1.258,43	1.398,25	1.631,30	2.982,94	3.635,46
<i>Dic</i>	3.359,56	2.775,29	2.434,46	1.898,88	1.314,61	1.363,30	1.265,92	1.314,61	1.460,68	1.704,12	3.116,11	3.797,76
	62.358,34	51.513,41	45.187,20	35.246,02	24.401,09	25.304,83	23.497,34	24.401,09	27.112,32	31.631,04	57.839,62	70.492,03

Tabla 85. Energía consumida por la red en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Energía consumida por la red para cada una de las 12 potencias pico												
N	69	57	50	39	27	28	26	27	30	35	64	78
<i>Ene</i>	596,07	675,34	1.080,41	1.716,96	2.411,37	2.353,51	2.469,24	2.411,37	2.237,77	1.948,43	596,07	596,07
<i>Feb</i>	562,40	562,40	562,40	1.138,31	1.941,71	1.874,76	2.008,66	1.941,71	1.740,86	1.406,11	562,40	562,40
<i>Mar</i>	749,87	749,87	749,87	817,41	1.719,54	1.644,37	1.794,72	1.719,54	1.494,01	1.118,12	749,87	749,87
<i>Abr</i>	709,63	709,63	709,63	709,63	849,35	775,68	923,02	849,35	709,63	709,63	709,63	709,63
<i>May</i>	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16	482,16
<i>Jun</i>	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59	381,59
<i>Jul</i>	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60
<i>Ago</i>	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60	256,60
<i>Sep</i>	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36	376,36
<i>Oct</i>	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78	595,78
<i>Nov</i>	441,15	441,15	610,57	1.123,27	1.682,57	1.635,96	1.729,18	1.682,57	1.542,74	1.309,70	441,15	441,15
<i>Dic</i>	562,40	974,06	1.314,89	1.850,47	2.434,74	2.386,05	2.483,43	2.434,74	2.288,67	2.045,23	633,24	562,40
	5.970,61	6.461,54	7.376,87	9.705,13	13.388,37	13.019,40	13.757,34	13.388,37	12.362,77	10.886,30	6.041,45	5.970,61

Tabla 86. Excedentes en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Excedentes para cada una de las 12 potencias pico												
N	69	57	50	39	27	28	26	27	30	35	64	78
<i>Ene</i>	615,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	325,81	1.135,96
<i>Feb</i>	1.432,59	629,20	160,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.097,84	2.035,14
<i>Mar</i>	2.187,81	1.285,67	759,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.811,91	2.864,41
<i>Abr</i>	2.954,56	2.070,48	1.554,77	744,36	0,00	0,00	0,00	0,00	81,30	449,67	2.586,19	3.617,62
<i>May</i>	4.367,41	3.272,45	2.633,72	1.630,00	535,03	626,28	443,79	535,03	808,77	1.265,01	3.911,17	5.188,63
<i>Jun</i>	4.191,33	3.086,35	2.441,77	1.428,87	323,88	415,96	231,80	323,88	600,13	1.060,54	3.730,92	5.020,07
<i>Jul</i>	4.607,95	3.404,94	2.703,18	1.600,41	397,40	497,65	297,15	397,40	698,15	1.199,41	4.106,70	5.510,22
<i>Ago</i>	4.377,24	3.214,35	2.535,99	1.470,01	307,12	404,03	210,21	307,12	597,84	1.082,38	3.892,70	5.249,41
<i>Sep</i>	3.709,27	2.693,27	2.100,61	1.169,28	153,28	237,95	68,62	153,28	407,28	830,61	3.285,93	4.471,26
<i>Oct</i>	3.016,62	2.181,15	1.693,79	927,94	92,47	162,09	22,85	92,47	301,34	649,45	2.668,51	3.643,22
<i>Nov</i>	716,14	156,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	483,10	1.135,61
<i>Dic</i>	172,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	610,81
	32.348,68	21.994,68	16.583,79	8.970,87	1.809,18	2.343,96	1.274,41	1.809,18	3.494,82	6.537,07	27.900,79	40.482,37

Tabla 87. Término de Energía en la Tarifa eléctrica en el Escenario III. (Fuente: Elaboración propia)

Término de energía mensual para cada una de las 12 potencias pico												
N	69	57	50	39	27	28	26	27	30	35	64	78
Ene	58,65 €	101,30 €	162,06 €	257,54 €	361,71 €	353,03 €	370,39 €	361,71 €	335,67 €	292,26 €	73,12 €	32,61 €
Feb	12,73 €	52,90 €	76,33 €	170,75 €	291,26 €	281,21 €	301,30 €	291,26 €	261,13 €	210,92 €	29,47 €	0,00 €
Mar	3,09 €	48,20 €	74,51 €	122,61 €	257,93 €	246,66 €	269,21 €	257,93 €	224,10 €	167,72 €	21,88 €	0,00 €
Abr	0,00 €	2,92 €	28,71 €	69,23 €	127,40 €	116,35 €	138,45 €	127,40 €	102,38 €	83,96 €	0,00 €	0,00 €
May	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	45,57 €	41,01 €	50,13 €	45,57 €	31,89 €	9,07 €	0,00 €	0,00 €
Jun	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	41,04 €	36,44 €	45,65 €	41,04 €	27,23 €	4,21 €	0,00 €	0,00 €
Jul	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	18,62 €	13,61 €	23,63 €	18,62 €	3,58 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ago	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	23,13 €	18,29 €	27,98 €	23,13 €	8,60 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Sep	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	48,79 €	44,56 €	53,02 €	48,79 €	36,09 €	14,92 €	0,00 €	0,00 €
Oct	0,00 €	0,00 €	4,68 €	42,97 €	84,74 €	81,26 €	88,22 €	84,74 €	74,30 €	56,89 €	0,00 €	0,00 €
Nov	30,37 €	58,33 €	91,59 €	168,49 €	252,39 €	245,39 €	259,38 €	252,39 €	231,41 €	196,46 €	42,02 €	9,39 €
Dic	75,73 €	146,11 €	197,23 €	277,57 €	365,21 €	357,91 €	372,51 €	365,21 €	343,30 €	306,78 €	94,99 €	53,82 €
	180,57 €	409,76 €	635,11 €	1.109,16 €	1.917,80 €	1.835,71 €	1.999,88 €	1.917,80 €	1.679,67 €	1.343,20 €	261,48 €	95,82 €

8.3.3. CÁLCULOS Y DEMOSTRACIONES DE INTERÉS

8.3.3.1. Cálculo de las necesidades de potencia calorífica realizado durante el TFG

A lo largo del TFG, se desarrolló una metodología sencilla proveniente de distintas fuentes para el cálculo de las necesidades de potencia calorífica individuales de cada habitación. El proceso, la lógica utilizada y la metodología, se explican en el presente apartado. El primero de los pasos en dicho proceso era el análisis de las variables que debían entrar en juego para llevar a cabo dicho cálculo. Las que se consideraban partían del ámbito teórico, es decir pasaban por analizar todos los factores que entran en juego en la Ley de Fourier:

- **Temperatura exterior.** La temperatura exterior a la estancia que se quiere calentar (que no necesariamente es la temperatura de la calle, sino la temperatura del otro lado del muro). Viene, a su vez, caracterizada por tres factores:
 - **Localización.** El Código Técnico de Edificación recogía cinco zonas climáticas que se muestran en la Ilustración 203. En ella, se ha incluido una estrella para mostrar que la casa se ubica en la zona D.

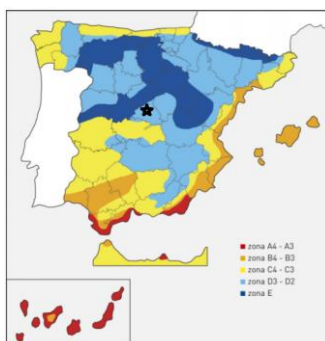


Ilustración 203. Mapa de España dividido en zonas climáticas. (Fuente: Grupo Novelec)

- **Exposición al exterior.** Es más fácil mantener el calor en una pared que linda con otra estancia, que en una pared que colinda con el exterior. Cuanto más expuesto a la intemperie esté la estancia a dimensionar, más potencia calorífica exigirá.
- **Orientación.** Las horas de luz y las temperaturas también varían en función de la orientación que tenga la habitación.
- **Aislamiento (k).** La transferencia de calor entre interior y el exterior de la vivienda es fundamental pues, de nuevo, hay grandes diferencias entre estancias bien aisladas y mal aisladas. Para el trabajo, se suponía que todas las habitaciones presentan un buen aislamiento respecto al exterior, fruto del cambio que se iba a realizar en los aislamientos de la vivienda.

- **Tamaño.** Se tenían en cuenta únicamente las dimensiones en planta (m²) de las habitaciones. Dado que la altura de todas las habitaciones de la casa es inferior a tres metros, ésta no era un factor a tener en cuenta.

Algunos expertos en el sector (páginas web y empresas dedicadas a la climatización) ponían a disposición del cliente diferentes herramientas para el dimensionamiento de radiadores, basando su trabajo en todos los parámetros que aparecen en la fórmula de conducción. Sin embargo, ninguna de ellas tenía en cuenta todos los factores. Por esta razón, en el TFG se intentó combinar todos los factores creando tablas de potencia de creación propia a partir del trabajo realizado por parte de dos expertos del sector.

Por un lado, el Grupo Novelec ponía a disposición del cliente una tabla en la que venía dada la potencia calorífica necesaria por metro cuadrado para habitaciones con alturas inferiores a 3 metros, según la zona geográfica, el aislamiento y la exposición al exterior (número de fachadas y situación y altura de la casa). La tabla original se incluye en la Ilustración 204. Según lo explicado, los datos relevantes para la vivienda eran los redondeados dado que, lo única que varía entre estancias es si tienen una o dos fachadas, y si se encuentran en la planta baja o en el ático. Lo demás era común a todas: Zona climática D con aislamiento.

Aislamiento	Sin aislamiento						Con aislamiento					
	Una Fachada			Dos Fachadas			Una fachada			Dos Fachadas		
Nº de Fachadas Exteriores	Una Fachada		Dos Fachadas		Una fachada		Dos Fachadas		Una fachada		Dos Fachadas	
Altura	Entre planta	Bajo	Ático	Entre planta	Bajo	Ático	Entre planta	Bajo	Ático	Entre planta	Bajo	Ático
Zona A	67	81	90	82	95	103	50	56	61	55	64	70
Zona B	74	90	100	91	106	115	56	62	68	66	71	78
Zona C	87	105	116	100	123	131	65	72	79	75	82	89
Zona D	99	121	131	119	140	149	74	82	90	85	92	101
Zona E	103	126	137	121	146	155	78	86	94	92	96	108

Ilustración 204. Tabla de potencia unitaria según distintos factores. (Fuente: Grupo Novelec)

Sin embargo, utilizando esta tabla, había un factor que no se estaba teniendo en cuenta, la orientación. Por ello, entró en juego la fórmula utilizada por el portal sectorial de instalaciones de climatización caloryfrio.com, que se muestra en la Ecuación 12.

Ecuación 12. Potencia calorífica unitaria necesaria para el cálculo de instalaciones de calefacción. (Fuente: Caloryfrio.com)

$$P(W/m^2) = 85 \cdot \text{Orientación} \cdot \text{Aislamiento} \cdot \text{Zona Climática}$$

El parámetro orientación valía 1 cuando la orientación era Este u Oeste; 0,92 cuando la orientación era Sur, y 1,12 cuando la orientación era Norte. Así pues, los parámetros de aislamiento y zona climática tomaban valores parecidos según esas distintas características. Sin embargo, esta fórmula no utilizaba el factor de exposición al exterior, por lo que tampoco estaba completa del todo.

De esta manera, se disponía de dos recursos que daban resultados muy parecidos pero que no tenían en cuenta todos los factores. Teniendo en cuenta que la vivienda estaba ubicada en la zona D y todas las habitaciones disponían de aislamiento, las únicas variables eran número de fachadas, altura, orientación y tamaño. Por ello, en la siguiente tabla se incluía una mezcla de ambas aproximaciones, multiplicando los datos de potencia por metro cuadrado redondeados en la Ilustración 204, por el factor de orientación correspondiente. Así, para calcular la potencia requerida en cada estancia se multiplicaría la potencia correspondiente de la Tabla 88 por la superficie de la habitación.

Tabla 88. Potencias unitarias utilizadas para el dimensionamiento. (Fuente: Elaboración propia)

	Sur		Este/Oeste		Norte	
	Planta 1	Planta 2	Planta 1	Planta 2	Planta 1	Planta 2
1 Fachada	75	83	82	90	92	101
2 Fachadas	85	93	92	101	103	113

8.4. ANEXO IV: ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Aparte de los hitos y objetivos concretos que pretende alcanzar este trabajo enmarcados en el ámbito de la climatización y de la energía solar fotovoltaica, este proyecto también nace con el objetivo de adaptar el potencial de la vivienda a un desarrollo sostenible. Aparte de pretender diseñar una residencia que proporcione unas condiciones adecuadas de confort, también se pretende crear una vivienda que sea capaz de bajar sus gastos energéticos, gracias al aumento de la eficiencia y a la utilización de fuentes de energía renovables.

Pues bien, todos estos objetivos que se encuentran dentro del marco medioambiental y del ahorro, pertenecen al ámbito de los objetivos de desarrollo sostenible, más conocidos como ODS. Con el objetivo de alcanzar el desarrollo sostenible en 2030, la ONU propuso 17 objetivos concretos de desarrollo sostenible que abarcaban, no solo el ámbito medioambiental, sino también el social y el económico. Dado que el proyecto en cuestión es de una escala pequeña e individual, solamente está relacionado con aquellos objetivos que tienen una componente medioambiental. En concreto estará relacionado con los objetivos 7, 12 y 13, los cuales se muestran en la Ilustración 205 y se explican a continuación.



Ilustración 205. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Fuente: Naciones Unidas)

- **OBJETIVO 7. Energía asequible y no contaminante**

Con este objetivo de desarrollo sostenible se pretende el acceso de todo el mundo a una energía que sea sostenible, segura, sostenible y moderna. La mayor aportación a este objetivo ha sido la introducción de energías completamente renovables en la vivienda. Además de introducir placas solares fotovoltaicas que generan electricidad de forma limpia, renovable y segura, los tres escenarios de climatización planteados también están en línea con este objetivo. Por un lado, la biomasa, al tratarse de materia orgánica, es considerada una energía renovable y, por el otro lado, tanto la aerotermia como la geotermia también se consideran energías renovables debido a los altos rendimientos que proporcionan.

- **OBJETIVO 12. Producción y consumo responsables**

Aunque este objetivo abarca más ámbitos aparte de los energéticos (agua, alimentos, etc.), este trabajo únicamente se ha centrado en este ámbito. De hecho, todas las medidas propuestas en el marco de este proyecto estaban directamente encaminadas a cumplir con el objetivo de producir y consumir de manera más responsable la energía en el inmueble. La falta de eficiencia detectada en la vivienda debido a instalaciones deterioradas y malos aislamientos suponía que el consumo dentro de la vivienda fuera excesivo. De este modo, el rediseño de la instalación de climatización implica un futuro consumo mucho más en línea con los objetivos de desarrollo sostenible en general y con este objetivo número 12 en particular. Además, mediante la introducción de energía solar fotovoltaica y fuentes de energía renovables, se asegura una producción responsable y en línea con el medioambiente.

- **OBJETIVO 13. Acción por el clima**

El último de los objetivos de desarrollo sostenible con el que este proyecto se pretende alinear tiene que ver con un tema candente hoy en día, el cambio climático. La meta principal de este objetivo es la reducción de la emisión de gases como el CO₂ y otros gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. Con la reducción de los niveles de estos gases en la atmósfera se contribuye a disminuir el calentamiento global que tan adversas consecuencias está trayendo al planeta. En consonancia con este objetivo, en este trabajo, aparte de apostar por energías limpias y renovables, como ya se ha indicado en los apartados previos, se ha sido especialmente cuidadoso a la hora de elegir los materiales utilizados para diferentes componentes que se han instalado. Un ejemplo muy claro de ello son los radiadores de aluminio elegidos de la marca Ferroli, una empresa que apuesta por la sostenibilidad y por la economía circular extrayendo de piezas de vehículos y otros electrodomésticos el aluminio utilizado en la fabricación de los radiadores. De manera parecida, las ventanas y persianas elegidas, y otros materiales elegidos para las distintas instalaciones ayudan a la consecución de este objetivo.

En definitiva, tal y como se ya se adelantaba durante la realización del TFG, la mayoría de los ODS con los que este proyecto se alinea guardan una relación de semejanza bastante alta. Es decir, en la mayoría de los casos, las mejoras propuestas a lo largo del diseño de la solución energética para la vivienda se alineaban con más de un ODS. Por tanto, queda demostrado que, con muy pocas acciones, se puede colaborar enormemente con el desarrollo sostenible del planeta y de la sociedad.

DOCUMENTO N.º 2
PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. ACLARACIONES PREVIAS	387
1.1. <i>ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE.....</i>	<i>387</i>
1.2. <i>ESCENARIO II. CALDERA DE BIOMASA CON RADIADORES Y AEROTERMIA POR CONDUCTOS.....</i>	<i>389</i>
1.3. <i>ESCENARIO III. GEOTERMIA CON RADIADORES.....</i>	<i>390</i>
2. PRESUPUESTO PARCIAL	391
2.1. <i>PRESUPUESTO PARCIAL DEL ESCENARIO I</i>	<i>391</i>
2.2. <i>PRESUPUESTO PARCIAL DEL ESCENARIO II.....</i>	<i>399</i>
2.3. <i>PRESUPUESTO PARCIAL DEL ESCENARIO III</i>	<i>408</i>
3. SUMAS PARCIALES Y PRESUPUESTO TOTAL	417
3.1. <i>PRESUPUESTO TOTAL DEL ESCENARIO I.....</i>	<i>417</i>
3.2. <i>PRESUPUESTO TOTAL DEL ESCENARIO II.....</i>	<i>418</i>
3.3. <i>PRESUPUESTO TOTAL DEL ESCENARIO III.....</i>	<i>419</i>
4. ANEXO: OFERTAS REALES.....	421
4.1. <i>PROPUESTAS COMUNES A TODOS LOS ESCENARIOS.....</i>	<i>421</i>
4.2. <i>PROPUESTAS PROPIAS DE CADA ESCENARIO.....</i>	<i>427</i>

1. ACLARACIONES PREVIAS

Este resumen presupuestario contendrá el presupuesto desglosado y completo de cada uno de los escenarios en cuestión. Como en cada uno de los escenarios se han tomado hipótesis distintas y los diferentes presupuestos que se han elegido cuentan cada uno con sus propias características, en este primer capítulo del presupuesto se describirán todas estas singularidades, de manera que, en caso de duda, se pueda acudir a este apartado. Aquí, también aparecerán decisiones que no se han incluido en el núcleo principal del trabajo, dado que son cuestiones puramente comerciales, y de análisis de diferentes precios y distribuidores.

En este presupuesto solo aparecerán aquellas propuestas que hayan sido elegidas para su posible desarrollo en la vivienda. Es decir, se descartarán todos los cambios realizados en el TFG que no han seguido adelante, así como todas aquellas propuestas que han quedado en el camino. En este primer capítulo, se le dedicará un subapartado a cada presupuesto que se ha pedido por separado, de manera que se entienda bien el contexto y el contenido de cada uno de ellos. Los presupuestos reales se mostrarán en el cuarto capítulo de este segundo documento del proyecto.

De este modo, se realizarán tres presupuestos diferentes, que se corresponden con cada uno de los escenarios de climatización, más las medidas adicionales en términos de aislamientos en ventanas, que es común a todos los escenarios, y en términos de la instalación fotovoltaica.

1.1. ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE

Siguiendo con lo explicado en la memoria del trabajo, para la realización del presupuesto de este escenario se ha acudido a empresas diferentes y se ha realizado cada parte de la instalación por separado. Además, se ha de determinar la cuantía de algunos aspectos no incluidos en el presupuesto, como ciertos gastos de transporte o mano de obra. De este modo, el presupuesto se compone de los siguientes apartados.

- 1) **Equipos.** Se trata de la compra y puesta en marcha de los equipos de aerotermia que se inscriben dentro del circuito llamado caldera – depósito, así como la realización de todas las conexiones entre ellos. Esto será realizado por la empresa ECOPEL, cuyo presupuesto original se muestra en la Ilustración 211, dentro del Anexo de este documento. De dicho presupuesto, no se incluirá el suelo radiante, ya que se realizará con otra empresa (Sin contar IVA, el precio final sería de $39.362,50 - 17.741,50 = 21.621,00$ €). Por lo demás, el montaje, transporte y conexionado están incluidos dentro del presupuesto en concepto de “mano de obra”. Además, habrá que sumar un gasto de 200 € + IVA, por la gestión de las subvenciones Next Generation en materia de aerotermia. Todo ello suma una cantidad de $[(39.362,50 - 17.741,50) + 200] \cdot 1,21 = 26.403,41$ €.
- 2) **Suelo Radiante.** Del circuito de suelo radiante al completo, se ha encargado la empresa ESAK, cuyo presupuesto real, desglosado y sin IVA, pero incluyendo gastos de instalación y transporte es de $28,571,00 + 1824,50 = 30.395,50$ €, tal y como se muestra en la suma de las dos partes en la Ilustración 212 del Anexo. En dicho documento, lo único que no se incluye son los gastos de carpintería que

habría que llevar a cabo tras la finalización de la obra. Por obras comparables y atendiendo a precios de 2023, el precio de carpintería en cuestión de retirada y puesta en marcha de parquet existente, se cobrará a un precio de 25 €/m² (Arroyo, 2023). Por tanto, ese será el precio que se asumirá a efectos de cálculo. De este modo, el precio final es de $(30.395,50 + 9.500,00) \cdot 1,21 = 48.273,56$ €.

- 3) **Circuito de ACS.** Únicamente habrá que atender al precio de catálogo de la bomba (del catálogo oficial de Grundfos España) más la asunción de precios en cuestión de portes e instalación de la misma. Siguiendo con la máxima del TFG, se asumirán portes de 100 € y un precio de 60 €/hora durante 3 horas por la instalación de la misma. Por tanto, el total sería de $(945 + 180 + 100) \cdot 1,21 = 1482,25$ €.
- 4) **Instalación fotovoltaica.** La empresa Ecopel es la encargada de la obtención de los componentes por parte del proveedor Salvador Escoda, así como de la revisión previa y puesta en marcha de la instalación. Aunque ofrecieron su propio presupuesto para la situación actual de la vivienda (Ilustración 210 del Anexo), en este trabajo se ha realizado un dimensionado propio con criterios diferentes. Además, cada escenario tiene necesidades diferentes. Por tanto, lo único que es fijo en cada uno de los escenarios es la Tabla 89 que se muestra a continuación. En este escenario en concreto, el desembolso total por 28 módulos y 2 inversores de 5 kW es de 20.724,08 €.

Tabla 89. Inversión inicial en la instalación fotovoltaica. (Fuente: Ecopel)

Elemento	Precio unitario
Módulos	445 €/ud (IVA no incluido)
Inversores	Tabla 20 (IVA no incluido)
Cableado, puesta en marcha y otros	3.000 € (Precio fijo e IVA incluido)

- 5) **Aislamientos en ventanas.** Dado que este es común a todos los escenarios, se explicará una sola vez. Este presupuesto se pidió durante la realización del TFG, pero tras confirmar con la propia empresa, el presupuesto todavía se mantiene (Ilustración 209). La empresa encargada de la distribución y el montaje es la empresa García Tamayo. El presupuesto se incluye en el Anexo de este documento. En dicho presupuesto para cada vano, se ha puesto una ventana con diferentes características de tamaño y apertura. Dependiendo de estas variables y del hecho de incluir persianas o no, el precio de cada ventana varía. Las características perfil y acristalamiento son comunes a todos. El coste de dicho presupuesto, sin incluir IVA era de 8.924,08 €. El precio de montaje y transporte del material no se incluye en el presupuesto, pero la empresa aplicaría un 25% del precio total por realizar estas tareas más 150 € por transporte y 150 € por desmantelamiento de las anteriores. De este modo, dicho coste, con IVA, sería de $(8.924,08 \cdot 1,25 + 150 + 150) \cdot 1,21 = 13.860,67$ €.

1.2. ESCENARIO II. CALDERA DE BIOMASA CON RADIADORES Y AEROTERMIA POR CONDUCTOS

Este segundo escenario cuenta con dos partes bien diferenciadas. Por un lado, se diseñó y se acudió a diferentes empresas para la realización del presupuestado de la parte de biomasa y, por el otro, se acudió a una sola empresa para realización del presupuesto de la parte de aerotermia por conductos.

- 1) Sistema de biomasa.** Todos los cambios realizados en la instalación de biomasa se encuentran dentro del presupuesto realizado por la empresa Hargassner. Dentro de este presupuesto se incluyen la nueva caldera, todo lo que tiene que ver con su combustible (aprovisionamiento, silo, transporte y chimenea), los nuevos depósitos de inercia y de ACS, equipos de impulsión y todas las tuberías y accesorios necesarios para montar la base de este circuito y sustituir las partes más afectadas del existente. El precio total de estas medidas es de 22.945,97 €, incluyendo el IVA y todos los gastos de transporte y puesta en marcha de la instalación. El presupuesto real se encuentra en la Ilustración 213.
- 2) Radiadores.** Tal y como se comentaba durante la realización del TFG, la consecución de los radiadores salía más barata por el proveedor CalorOnline, que directamente de la empresa Ferroli. Esto se muestra en la Tabla 90. Además, la tienda ponía a disposición del cliente todo tipo de accesorios en materia de montaje y puesta en marcha de los radiadores (purgadores, detentores, válvulas, etc.), por un precio por radiador de 42,65 €. Además, el presupuesto real también incluye un descuento por volumen del 3,5 %, unos gastos de portes de 150 € y se le aplica el IVA del 21 %, resultando en un presupuesto total de 4.627,35 €. Lo único que quedaría por añadir serían los gastos de montajes y desmantelamiento de los radiadores, que según se indicó en el TFG, ascendían a un total de 1950 €, sin incluir el IVA (150 € de desmantelamiento y un precio de 60 €/h por un total de 30 horas trabajadas). De este modo, el precio total de los radiadores ascendía a $(3.807,52 \cdot 0,965 + 150 + 1800 + 150) \cdot 1,21 = 6.986,85$ €.

Tabla 90. Precio por elemento de los radiadores Europa C. (Fuente: Elaboración Propia)

MODELO	Ferroli (€/Ud.)	CalorOnline (€/Ud.)
450 C	16,84	6,28
600 C	17,29	5,85
700 C	20,92	7,33
800 C	23,58	9,95

- 3) Aerotermia por conductos.** El presupuesto ha sido íntegramente realizado por la empresa instaladora Ecopel a partir de productos de todo tipo de proveedores. El presupuesto mostrado en la Ilustración 215 incluye todos los equipos, accesorios, transporte y mano de obra necesaria para llevar a cabo la instalación de aire

acondicionado. De esta manera, asumiendo IVA, el total del presupuesto asciende a 24.380,29 €. No obstante, a este presupuesto es necesario sumarle los gastos de carpintería relacionados con la construcción de un falso techo. Siguiendo con la máxima que se siguió en el escenario anterior, se asumirán unos gastos de carpintería de 25 €/m² que en total suponen 9.500 €, sin contar el IVA. Por tanto, la cuantía total de este apartado es de $24.380,29 + 9.500 \cdot 1,21 = 35.875,29$ €.

- 4) **Instalación fotovoltaica.** La explicación es la misma que en el escenario anterior. En este escenario en concreto, el desembolso total por 23 módulos y 1 inversores de 8 kW es de 17.199,35 €.
- 5) **Ventanas.** El presupuesto de la parte de aislamientos en ventanas es igual a los demás escenarios: 13.860,67 €.

1.3. ESCENARIO III. GEOTERMIA CON RADIADORES

De nuevo, este escenario cuenta con tres partes bien diferenciadas, más luego las partes comunes de fotovoltaica y ventanas. Por tanto, hay una combinación de tres presupuestos diferentes.

- 1) **Sistema de geotermia.** La empresa Geointegral ha realizado un presupuesto íntegro en el que se incluye el precio de todos los equipos (bomba de calor, depósito de inercia, bomba de impulsión, tubos, sondas, equipos electrógenos, etc.), así como el precio de los estudios geológicos, permisos necesarios, gestión de las subvenciones, transporte de equipos y maquinaria, puesta en marcha del sistema y desmantelamiento de la antigua instalación. Todo ello tiene un precio, sin incluir el IVA, de $44.192,66 + 280,00 + 560,00 + 2.500,00 = 47.532,66$ €, tal y como se aprecia en la Ilustración 216 del Anexo de este documento. Por tanto, el precio total, incluyendo IVA, será de 57.514,52 €.
- 2) **Radiadores.** Aplica exactamente lo mismo que lo comentado para el Escenario II. El precio total es de 6.986,85 €.
- 3) **Circuito de ACS.** Está formado por la incorporación del interacumulador de ACS y la bomba de circulación de ACS. En cuanto a la bomba, se sigue exactamente el mismo criterio que para el Escenario I. Por tanto, el total sería de $(945 + 180 + 100) \cdot 1,21 = 1482,25$ €. En cuanto al depósito elegido de la marca Roca, también será el mismo que en el primer escenario. Su precio, incluyendo transporte y puesta en marcha, pero sin incluir IVA, es de 2.163,00 €. Por tanto, el precio de esta parte es de $1482,25 + 2.163,00 \cdot 1,21 = 4.099,48$ €.
- 4) **Instalación fotovoltaica.** La explicación es la misma que en el escenario anterior. En este escenario en concreto, el desembolso total por 26 módulos y 2 inversores de 5 kW es de 19.647,18 €.
- 5) **Ventanas.** El presupuesto de la parte de aislamientos en ventanas es igual a los demás escenarios: 13.860,67 €.

2. PRESUPUESTO PARCIAL

2.1. *PRESUPUESTO PARCIAL DEL ESCENARIO I*

Tabla 91. Presupuesto del Escenario I. (Fuente: Elaboración Propia)

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
1.	EQUIPOS			
1.1	Bomba de Calor Monoblocco R32 Triphase 30 de Mitsui Etiqueta energética A++ Tecnología Inverter Potencia calefacción: 30,1 kW COP: 3,91 SCOP: 4,19 Potencia refrigeración: 31 kW EER: 4,00 SEER: 5,71	1	10.710,00	10.710,00
1.2	Kit de Aerotermia Incluye materiales en materia de tubos y conexiones, así como sistemas de impulsión	1	3.153,00	3.153,00
1.3	Depósito de Inercia 100 L de Mitsui Incluye transporte, instalación y puesta en marcha del depósito	1	475,00	475,00
1.4	Interacumulador de ACS 300 L de Baxi Incluye transporte, instalación y puesta en marcha del depósito	1	2.163,00	2.163,00
1.5	Mano de obra Incluye materiales para conexonado de tuberías, elementos de regulación, transporte de materiales, retirada y desguace del circuito actual, y montaje del nuevo circuito	1	5.120,00	5.120,00
1.6	Gestión de las subvenciones Next Generation	1	200,00	200,00
			Subtotal	21.821,00
1.7	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	4.582,41	4.582,41
			Subtotal	26.403,41 €
2.	SUELO RADIANTE			

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
2.1	Suelo radiante GRAFIPLAC 34 mm Tubo PEX de polietileno reticulado 16 x 1,9 mm Barrera antidifusión de oxígeno EVAL 8,5 m/m ² Plancha de aislamiento térmico y acústico FITTINGSESTANDAR GRAFIPLAC Plancha de espuma de poliestireno expandido EPS GRAFITO de 34 mm ² Tetones de 0,77 m ² ·K/W Densidad aparente: 20 kg/m ³ Reducción de nivel sonoro de 21-25 dB Distribuidores UPONOR	300	46,00	13.800,00
2.2	Suelo radiante GRAFIPLAC 19 mm Tubo PEX de polietileno reticulado 16 x 1,9 mm Barrera antidifusión de oxígeno EVAL 8,5 m/m ² Plancha de aislamiento térmico y acústico FITTINGSESTANDAR GRAFIPLAC Plancha de espuma de poliestireno expandido EPS GRAFITO de 19 mm ² Tetones de 0,77 m ² ·K/W Densidad aparente: 20 kg/m ³ Reducción de nivel sonoro de 21-25 dB Distribuidores UPONOR	100	43,00	4.300,00
2.3	Cabezal Electrotérmico Uponor 230 V Regulación del sistema en colectores	50	63,00	3.150,00
2.4	Armario metálico para colector 850 Para colectores de 85 cm Dimensiones 720/820 x 850 x 110 mm Incluye mano de obra	4	435,00	1.740,00
2.5	Armario metálico para colector 1000 Para colectores de 100 cm Dimensiones 720/820 x 1000 x 110 mm Incluye mano de obra	1	484,00	484,00
2.6	Tuberías de conexión Poliestireno reticulado por peróxido PEX GOL Diámetros según norma en cada caso Accesorios varios	5	695,00	3.475,00
2.7	Grundfos Magna1 32-200 Número de producto: 99221236 Bomba electrónica de bajo consumo	1	1.622,00	1.622,00

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Incluye pueta en marcha y portes por parte de ESAK 1 x 230 V T: -10 a 110 °C P _{max} : 10 bar			
2.8	BTDP Termostato digital Watts Pantalla LCD retroiluminaria Función ON/OFF	15	79	1.185,00
2.9	Caja Master 6 zonas Watts	5	71,70	358,50
2.10	Caja Slave 6 zonas Watts	5	56,20	281,00
2.11	Carpintería Montaje y desmontaje del parquet, incluyendo posible pintura, tarimado, etc.	380	25,00	9.500,00
			Subtotal	39.895,50
2.12	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	8.378,06	8.378,06
			Subtotal	48.273,56 €
3.	CIRCUITO ACS. BOMBA			
3.1	Grundfos CME 1-2 A-R-A-E-AQQE U-A-D-N Número de producto: 98394755 Bomba multietapa para aumento de presión doméstico con convertidor de frecuencia. Cuerpo de la bomba y pie en fundición 1 x 220-240 V T: -20 a 90 °C P _{max} : 10 bar Grado de aislamiento: F Grado de protección: IP55	1	945,00	945,00
3.2	Instalación de las bombas Precio por hora cobrado por el especialista encargado en el montaje de las bombas elegidas.	3	60,00	180,00
3.3	Portes de las bombas Importe cobrado por el transporte y asegurado de las bombas desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	100,00	100,00
			Subtotal	1.225,00
3.3	I.V.A.	1	257,25	257,25

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.			
			Subtotal	1.482,25 €
4.	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA			
4.1	Módulos fotovoltaicos EX460-480HJT Código de inventario: SF 01 118 Pmax 480 W Vidrio/POE/célula/POE/Vidrio Tipo de célula: HIT Mono 166 x 83 mm Conexión de célula: 144 (72 x 2) Dimensiones: 2094 x 1038 mm Peso: 27,5 kg Caja de conexiones: IP67/IP68 Cable: 4 mm ² , 200 mm longitud	28	445,00	12.460,00
4.2	Inversor SAJ Serie R5 5K-S2 Código de Inventario: F14439 Pmax CC: 7,5 kW Pmax CA: 5 kW 2 MPPT Protecciones e IA integrados Dimensiones: 389 x 367 x 143 mm Peso: 12,2 kg Caja de conexiones: IP65	2	1.094,00	2.188,00
			Subtotal	14.648,00
4.3	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	17.724,08	17.724,08
4.4	Cableado y puesta en marcha Puesta en marcha Todo el material y tiempo necesario en materia de cableado, puestas a tierra, soportes, protecciones y demás que se establecen en el REBT y en el IDAE.	1	3.000,00	3.000,00
			Subtotal	20.724,08 €
5.	VENTANAS			
5.1	Ventana de 1 hoja con fijo central Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2135 - Alto: 1350 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras	1	779,90	779,90

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.2	Ventana de 3 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2310 - Alto: 1050 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	3	766,84	2300,52
5.3	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1270 - Alto: 900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	433,89	433,89
5.4	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1270 - Alto: 1050	1	465,66	465,66

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.5	Ventana de 1 hoja Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 700 - Alto: 650 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	257,88	257,88
5.6	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1150 - Alto: 650 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	374,59	374,59
5.7	Ventana de 3 hojas	1	703,15	703,15

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2400 - Alto: 850 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.8	Fijo 1 hueco Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1915 - Alto: 920 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado	1	333,44	333,44
5.9	Balconera de 1 hoja y 2 fijos laterales Herraje Corredero Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2925 - Alto: 2250 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	742,30	742,30
5.10	Ventana de 1 hoja Herraje Batiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 915 - Alto: 2250 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA Barrotillo 18 mm	1	539,11	539,11
5.11	Fijo 1 hueco	1	586,01	586,01

ESCENARIO I. AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2045 - Alto: 1900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Barrotillo 18 mm			
5.12	Esquinero 90 Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.90 - Alto: 1.900 Esquinero 90º utilizado para el cerramiento entre los ventanales fijos 2.11 y 2.13.	1	63,54	63,54
5.13	Fijo 2 huecos Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 4840 - Alto: 1900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Barrotillo 18mm	1	1344,09	1344,09
5.14	Montaje de las ventanas El montaje de las ventanas llevado a cabo por la propia empresa García Tamayo es de exactamente el 25% del valor total de la compra de las ventanas descontando el I.V.A.	1	2231,02	2231,02
5.15	Portes de las ventanas Importe cobrado por el transporte y asegurado de las ventanas desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	150,00	150,00
5.16	Portes de desmantelamiento de las ventanas Transporte cobrado para el deshecho de las ventanas antiguas.	1	150,00	150,00
			Subtotal	11.455,10
5.17	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total de la compra, excluyendo instalación.	1	2.405,57	2.405,57
			Subtotal	13.860,67 €

2.2. PRESUPUESTO PARCIAL DEL ESCENARIO II

Tabla 92. Presupuesto del Escenario II. (Fuente: Elaboración Propia)

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
1.	SISTEMA DE BIOMASA			
1.1	Caldera de Pellets, Smart-PK32 9,6-32 kW Eficiencia A+ 1520x1080x650 mm Capacidad a máxima carga: 33,6 kW Capacidad de agua de 42 L Pellets según Ö-Norm 7135 o EN ISO 17225-2 clase A1 Incluye transporte y puesta en marcha	1	8.883,64	8.883,64
1.2	Silo textil GWT-MAX 160x200 Aspiración directa	1	3.615,93	3.615,93
1.3	Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32 ACC Carga/protección de back-end	1	1.098,63	1.098,63
1.4	Sonda de calefacción con kit de fijación	5	46,81	234,05
1.5	Válvula de conmutación UV-HKV1.1 de hasta 30 kW Incluye 1 sonda para calor externo o inercia	1	186,29	186,29
1.6	Válvula de descarga térmica 95 °C	1	205,39	205,39
1.7	Placa regulación ACS Esta placa adicional amplía el control en 1 circuito de calefacción con mezcladora y regulación por sonda exterior y a un acumulador de ACS con recirculación Se puede montar directamente en la caldera o en el interior de los módulos HKM o HKR	1	167,18	167,18
1.8	Depósito Domusa DUO 750/100 Inercia de 750 L ACS de 190 L	1	1.785,67	1.785,67
1.9	Chimenea modular INOX DO316L/304 Suministro y montaje incluidos Diámetro nominal 175 mm Marca DINAK, gama DP Fabricada en acero inoxidable AISI 316L (1.4404) interior y AISI 304 (1.4301) exterior	5	184,47	922,33

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Aislamiento continuo de lana de roca de 30 mm de espesor y densidad 100 kg/m ³ Incluye parte proporcional de accesorios y elementos de fijación			
1.10	Vaso de expansión MAXIVAREM Membrana MAXIVAREM LR de POTERMIC Temperatura de trabajo -10 °C + 99 °C, Presión máx. 6 bar Presión de precarga 1,5 bar Volumen de 50 litros Dimensiones ØxH 624x1006 mm Conexión 1 1/2" M	1	171,37	171,37
1.11	Accesorios tuberías y demás material Uniones (con sus accesorios) para la instalación de los elementos descritos Corrección de algunos problemas en la red	1	1.693,13	1.693,13
			Subtotal	18.963,61
1.12	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	3.982,36	3.982,36
			Subtotal	22.945,97 €
2.	RADIADORES			
2.1	EUROPA 450 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$) = 67,1 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 431x80x100 mm Contenido Agua = 0,31 l	2x13	6,28	163,28
2.2	EUROPA 600 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$) = 89,2 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 581x80x100 mm Contenido Agua = 0,39 l	1x5	5,85	29,25
		1x7		40,95
		1x8		46,80
		1x12		70,20
		2x13		152,10
		6x14		491,40
2.3	EUROPA 700 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$) = 102,2 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 681x80x100 mm Contenido Agua = 0,45 l	2x7	7,33	102,62
		2x12		175,92
		2x13		190,58
		1x14		102,62

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
2.4	EUROPA 800 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$) = 117,6 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 781x80x100 mm Contenido Agua = 0,50 l	1x9	9,95	89,55
		1x10		99,50
		1x12		119,40
		5x14		696,50
2.5	Kit Accesorios: Conjunto de todos los accesorios necesarios para llevar a cabo la instalación de los radiadores: 1 Válvula Termostática a 1/2 " 1 Cabezal Termostático 1 Detentor 1/2 " 1 Purgador automático 1" 4 juntas 2 Reducciones 1 Tapón 2 Soportes regulable aluminio 2 Tuercas Monoblocco.	29	42,65	1236,85
			Subtotal	3807,52
2.6	Descuento Descuento del 3,5% aplicado sobre los materiales comprados. El descuento es aplicado por la tienda CalorOnline debido a volumen de compra.	1	(133,26)	(133,26)
			Subtotal	3674,26
2.7	Instalación de los radiadores Precio por hora cobrado por el especialista encargado en el desmantelamiento de los antiguos radiadores e instalación de los nuevos.	30	60,00	1800,00
2.8	Portes de los radiadores Importe cobrado por el transporte y asegurado de los radiadores desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	150,00	150,00
2.9	Portes de desmantelamiento de los radiadores Transporte cobrado para el deshecho de los radiadores antiguos.	1	150,00	150,00
			Subtotal	5.774,26
2.10	I.V.A.	1	1.212,60	1.212,60

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total de la compra, excluyendo instalación.			
			Subtotal	6.986,85 €
3.	AEROTERMIA POR CONDUCTOS			
3.1	2x1 Boma de calor reversible HTW-D-090ADMR32 2 unidades interiores 1 unidad exterior Potencia frigorífica 8,79 kW SEER 6,5 Eficiencia A++ Potencia calorífica 9,38 kW SCOP 4,0	2	2.061,00	4.122,00
3.2	1x1 Boma de calor reversible HTW-D-140ADMR32 1 unidad interiores 1 unidad exterior Potencia frigorífica 14,07 kW SEER 6,2 Eficiencia A++ Potencia calorífica 16,12 kW SCOP 4,0	1	3.420,00	3.420,00
3.3	Soportes de apoyo de caucho Para evitar antivibración	2	90,00	180,00
3.4	Metros de conducto + Adaptadores + Rejillas motorizadas	69	68,00	4.692,00
3.5	Cobre metros de conducto + gas R32	125	35	4.375,00
3.6	Tubo Flex 200 (17M)	2	80,00	160,00
3.7	Mano de obra Incluye la instalación y portes del sistema	1	3.200,00	3.200,00
3.8	Carpintería Montaje y pintado del falso techo	380	25,00	9.500,00
			Subtotal	29.649,00
3.9	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	6.226,29	6.226,29
			Subtotal	35.875,29 €
4.	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA			
4.1	Módulos fotovoltaicos EX460-480HJT Código de inventario: SF 01 118	23	445,00	10.235,00

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Pmax 480 W Vidrio/POE/célula/POE/Vidrio Tipo de célula: HIT Mono 166 x 83 mm Conexión de célula: 144 (72 x 2) Dimensiones: 2094 x 1038 mm Peso: 27,5 kg Caja de conexiones: IP67/IP68 Cable: 4 mm ² , 200 mm longitud			
4.2	Inversor SAJ Serie R5 8K-S2 Código de Inventario: F14442 Pmax CC: 12 kW Pmax CA: 8 kW 2 MPPT Protecciones e IA integrados Dimensiones: 429 x 418 x 177 mm Peso: 18 kg Caja de conexiones: IP65	1	1.500,00	1.500,00
			Subtotal	11.735,00
4.3	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	14.199,35	14.199,35
4.4	Cableado y puesta en marcha Puesta en marcha Todo el material y tiempo necesario en materia de cableado, puestas a tierra, soportes, protecciones y demás que se establecen en el REBT y en el IDAE.	1	3.000,00	3.000,00
			Subtotal	17.199,35 €
5.	VENTANAS			
5.1	Ventana de 1 hoja con fijo central Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2135 - Alto: 1350 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Emberero Lamas de Aluminio Color Golden	1	779,90	779,90

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.2	Ventana de 3 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2310 - Alto: 1050 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	3	766,84	2300,52
5.3	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1270 - Alto: 900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	433,89	433,89
5.4	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1270 - Alto: 1050 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC	1	465,66	465,66

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.5	Ventana de 1 hoja Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 700 - Alto: 650 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	257,88	257,88
5.6	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1150 - Alto: 650 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	374,59	374,59
5.7	Ventana de 3 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2400 - Alto: 850 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado	1	703,15	703,15

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.8	Fijo 1 hueco Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1915 - Alto: 920 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado	1	333,44	333,44
5.9	Balconera de 1 hoja y 2 fijos laterales Herraje Corredero Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2925 - Alto: 2250 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	742,30	742,30
5.10	Ventana de 1 hoja Herraje Batiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 915 - Alto: 2250 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA Barrotillo 18 mm	1	539,11	539,11
5.11	Fijo 1 hueco Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2045 - Alto: 1900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado	1	586,01	586,01

ESCENARIO II. BIOMASA CON RADIADORES + AEROTERMIA POR CONDUCTOS				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Barrotillo 18 mm			
5.12	Esquinero 90 Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.90 - Alto: 1.900 Esquinero 90º utilizado para el cerramiento entre los ventanales fijos 2.11 y 2.13.	1	63,54	63,54
5.13	Fijo 2 huecos Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 4840 - Alto: 1900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Barrotillo 18mm	1	1344,09	1344,09
5.14	Montaje de las ventanas El montaje de las ventanas llevado a cabo por la propia empresa García Tamayo es de exactamente el 25% del valor total de la compra de las ventanas descontando el I.V.A.	1	2231,02	2231,02
5.15	Portes de las ventanas Importe cobrado por el transporte y asegurado de las ventanas desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	150,00	150,00
5.16	Portes de desmantelamiento de las ventanas Transporte cobrado para el deshecho de las ventanas antiguas.	1	150,00	150,00
			Subtotal	11.455,10
5.17	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total de la compra, excluyendo instalación.	1	2.405,57	2.405,57
			Subtotal	13.860,67 €

2.3. PRESUPUESTO PARCIAL DEL ESCENARIO III

Tabla 93. Presupuesto del Escenario III. (Fuente: Elaboración Propia)

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
1.	SISTEMA DE GEOTERMIA			
1.1	Bomba de calor geotérmica CLAUSIUS CLASSIC HC 5-25 DS Tecnología inverter Circulación de velocidad variable Inversor de ciclo Sensor de temperatura interior Incluye conexiones hidráulicas y sistema de monitorización remota COP: 5.01 Potencia Calefacción y ACS: 5 a 25 kW Potencia Refrigeración: 6 a 30 kW	1	13.641,60	13.641,60
1.2	Campo de captación compuesto por cuatro perforaciones de 120 metros Sonda simple Pesa Tubo de inyección Mortero geotérmico Gestión de lodos Trasporte de maquinaria Conexionado horizontal del campo de captación Arqueta colectora geotérmica con válvulas de corte, purgado y llenado Relleno de propilenglicol Accesorios electrosoldados Prueba de estanqueidad Conexión a bomba de calor.	1	26.782,41	26.782,41
1.3	Proyecto de perforación y legalización del campo de captación en la delegación de Industria y Minas Pago de tasas correspondientes	1	1.365,47	1.365,47
1.4	Depósito de inercia IDROGAS AR-A100 de 100 litros de capacidad Apto para calefacción y refrigeración Fabricado en acero negro, con aislamiento térmico en espuma rígida de poliuretano inyectado libre de CFC	1	1.232,56	1.232,56
1.5	Bomba circuladora de alta eficiencia marca DAB	1	545,94	545,94

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
1.6	Conexiones hidráulicas adicionales Conexión con los elementos de ACS y calefacción existentes	1	624,68	624,68
1.7	Alquiler de Grupo Electrónico de 20 kvas para obra Necesario para la inyección de mortero geotérmico	1	280,00	280,00
1.8	Desinstalación y retirada de elementos existentes Desmantelamiento de calderas, depósitos y conexiones existentes	1	560,00	560,00
1.9	Apertura y cierre de zanja	1	2.500,00	2500,00
			Subtotal	47.532,66
1.10	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	9.981,86	9.981,86
			Subtotal	57.514,52 €
2.	RADIADORES			
2.1	EUROPA 450 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 67,1 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 431x80x100 mm Contenido Agua = 0,31 l	2x13	6,28	163,28
2.2	EUROPA 600 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 89,2 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 581x80x100 mm Contenido Agua = 0,39 l	1x5	5,85	29,25
		1x7		40,95
		1x8		46,80
		1x12		70,20
		2x13		152,10
		6x14		491,40
2.3	EUROPA 700 C Radiador por elemento. Emisión Térmica ($\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 102,2 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 681x80x100 mm Contenido Agua = 0,45 l	2x7	7,33	102,62
		2x12		175,92
		2x13		190,58
		1x14		102,62
2.4	EUROPA 800 C Radiador por elemento.	1x9	9,95	89,55
		1x10		99,50
		1x12		119,40

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Emisión Térmica ($\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) = 117,6 W Dimensiones (Alto, Ancho, Profundidad) = 781x80x100 mm Contenido Agua = 0,50 l	5x14		696,50
2.5	Kit Accesorios: Conjunto de todos los accesorios necesarios para llevar a cabo la instalación de los radiadores: 1 Válvula Termostática a 1/2 " 1 Cabezal Termostático 1 Detentor 1/2 " 1 Purgador automático 1" 4 juntas 2 Reducciones 1 Tapón 2 Soportes regulable aluminio 2 Tuercas Monoblocco.	29	42,65	1236,85
			Subtotal	3807,52
2.6	Descuento Descuento del 3,5% aplicado sobre los materiales comprados. El descuento es aplicado por la tienda CalorOnline debido a volumen de compra.	1	(133,26)	(133,26)
			Subtotal	3674,26
2.7	Instalación de los radiadores Precio por hora cobrado por el especialista encargado en el desmantelamiento de los antiguos radiadores e instalación de los nuevos.	30	60,00	1800,00
2.8	Portes de los radiadores Importe cobrado por el transporte y asegurado de los radiadores desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	150,00	150,00
2.9	Portes de desmantelamiento de los radiadores Transporte cobrado para el deshecho de los radiadores antiguos.	1	150,00	150,00
			Subtotal	5.774,26
2.10	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total de la compra, excluyendo instalación.	1	1.212,60	1.212,60

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
			Subtotal	6.986,85 €
3.	<i>CIRCUITO DE ACS</i>			
3.1	Grundfos CME 1-2 A-R-A-E-AQQE U-A-D-N Número de producto: 98394755 Bomba multietapa para aumento de presión doméstico con convertidor de frecuencia. Cuerpo de la bomba y pie en fundición 1 x 220-240 V T: -20 a 90 °C P _{max} : 10 bar Grado de aislamiento: F Grado de protección: IP55	1	945,00	945,00
3.2	Instalación de las bombas Precio por hora cobrado por el especialista encargado en el montaje de las bombas elegidas.	3	60,00	180,00
3.3	Portes de las bombas Importe cobrado por el transporte y asegurado de las bombas desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	100,00	100,00
3.4	Interacumulador de ACS 300 L de Roca Incluye transporte, instalación y puesta en marcha del depósito	1	2.163,00	2.163,00
			Subtotal	3388,00
3.5	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	711,48	711,48
			Subtotal	4.099,48 €
4.	<i>INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA</i>			
4.1	Módulos fotovoltaicos EX460-480HJT Código de inventario: SF 01 118 Pmax 480 W Vidrio/POE/célula/POE/Vidrio Tipo de célula: HIT Mono 166 x 83 mm Conexión de célula: 144 (72 x 2) Dimensiones: 2094 x 1038 mm Peso: 27,5 kg Caja de conexiones: IP67/IP68 Cable: 4 mm ² , 200 mm longitud	26	445,00	11.570,00
4.2	Inversor SAJ Serie R5 5K-S2	2	1.094,00	2.188,00

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Código de Inventario: F14439 Pmax CC: 7,5 kW Pmax CA: 5 kW 2 MPPT Protecciones e IA integrados Dimensiones: 389 x 367 x 143 mm Peso: 12,2 kg Caja de conexiones: IP65			
			Subtotal	13.758,00
4.3	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total.	1	16.647,18	16.647,18
4.4	Cableado y puesta en marcha Puesta en marcha Todo el material y tiempo necesario en materia de cableado, puestas a tierra, soportes, protecciones y demás que se establecen en el REBT y en el IDAE.	1	3.000,00	3.000,00
			Subtotal	19.647,18 €
5.	VENTANAS			
5.1	Ventana de 1 hoja con fijo central Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2135 - Alto: 1350 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	779,90	779,90
5.2	Ventana de 3 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2310 - Alto: 1050 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras	3	766,84	2300,52

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.3	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1270 - Alto: 900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	433,89	433,89
5.4	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1270 - Alto: 1050 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 200x186 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	465,66	465,66
5.5	Ventana de 1 hoja Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 700 - Alto: 650	1	257,88	257,88

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm			
5.6	Ventana de 2 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1150 - Alto: 650 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	374,59	374,59
5.7	Ventana de 3 hojas Herraje Oscilobatiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2400 - Alto: 850 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA RolaPlus 170x166 Tapa Ext PVC Color Embero Lamas de Aluminio Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	703,15	703,15
5.8	Fijo 1 hueco	1	333,44	333,44

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1915 - Alto: 920 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado			
5.9	Balconera de 1 hoja y 2 fijos laterales Herraje Corredero Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2925 - Alto: 2250 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm	1	742,30	742,30
5.10	Ventana de 1 hoja Herraje Batiente Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 915 - Alto: 2250 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Sistema de Herrajes GUPROCOMSA Barrotillo 18 mm	1	539,11	539,11
5.11	Fijo 1 hueco Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2045 - Alto: 1900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Barrotillo 18 mm	1	586,01	586,01
5.12	Esquinero 90 Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.90 - Alto: 1.900 Esquinero 90º utilizado para el cerramiento entre los ventanales fijos 2.11 y 2.13.	1	63,54	63,54
5.13	Fijo 2 huecos Herraje Fijo Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO	1	1344,09	1344,09

ESCENARIO III. GEOTERMIA CON AGUA				
N.º	Descripción	Unidades	Precio (€)	Importe (€)
	Ancho: 4840 - Alto: 1900 Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 Sistema EuroFutur de KÖMMERLING 5 cámaras Refuerzo de acero galvanizado Barrotillo 18mm			
5.14	Montaje de las ventanas El montaje de las ventanas llevado a cabo por la propia empresa García Tamayo es de exactamente el 25% del valor total de la compra de las ventanas descontando el I.V.A.	1	2231,02	2231,02
5.15	Portes de las ventanas Importe cobrado por el transporte y asegurado de las ventanas desde el lugar de origen hasta la vivienda.	1	150,00	150,00
5.16	Portes de desmantelamiento de las ventanas Transporte cobrado para el deshecho de las ventanas antiguas.	1	150,00	150,00
			Subtotal	11.455,10
5.17	I.V.A. Impuesto sobre el valor añadido del 21% sobre el precio total de la compra, excluyendo instalación.	1	2.405,57	2.405,57
			Subtotal	13.860,67 €

3. SUMAS PARCIALES Y PRESUPUESTO TOTAL

3.1. PRESUPUESTO TOTAL DEL ESCENARIO I

Tabla 94. Sumas parciales y presupuesto total del Escenario I. (Fuente: Elaboración Propia)

N.º	Apartado	Subtotales (€)
1.	<i>Equipos de Aerotermia</i>	26.403,41
2.	<i>Suelo Radiante</i>	48.273,56
3.	<i>Circuito de ACS</i>	1.482,25
4.	<i>Instalación fotovoltaica</i>	20.724,08
5.	<i>Aislamientos en ventanas</i>	13.860,67
	PRESUPUESTO TOTAL	110.743,97 €

Ciento diez mil setecientos cuarenta y tres euros con noventa y siete céntimos

El ingeniero autor del proyecto D. Javier Ros Martín, cuyos honorarios se excluyen del presupuesto total del proyecto.

En Pozuelo de Alarcón, Madrid a 1 de diciembre de 2023.

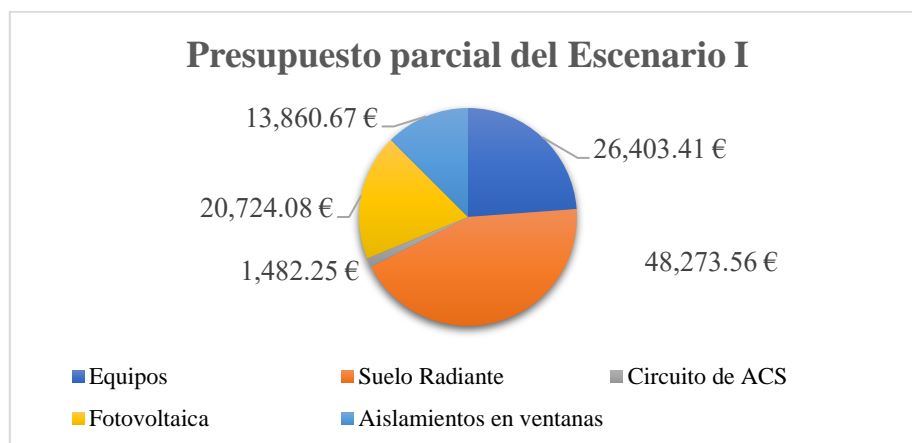


Ilustración 206. Diagrama de sectores del presupuesto total del Escenario I (Fuente: Elaboración Propia)

3.2. PRESUPUESTO TOTAL DEL ESCENARIO II

Tabla 95. Sumas parciales y presupuesto total del Escenario II. (Fuente: Elaboración Propia)

N.º	Apartado	Subtotales (€)
1.	Sistema de biomasa	22.945,97
2.	Radiadores	6.986,85
3.	Aerotermia por conductos	35.875,29
4.	Instalación fotovoltaica	17.199,35
5.	Aislamientos en ventanas	13.860,67
	PRESUPUESTO TOTAL	96.868,13 €

Noventa y seis mil ochocientos sesenta y ocho euros con trece céntimos

El ingeniero autor del proyecto D. Javier Ros Martín, cuyos honorarios se excluyen del presupuesto total del proyecto.



En Pozuelo de Alarcón, Madrid a 1 de diciembre de 2023.

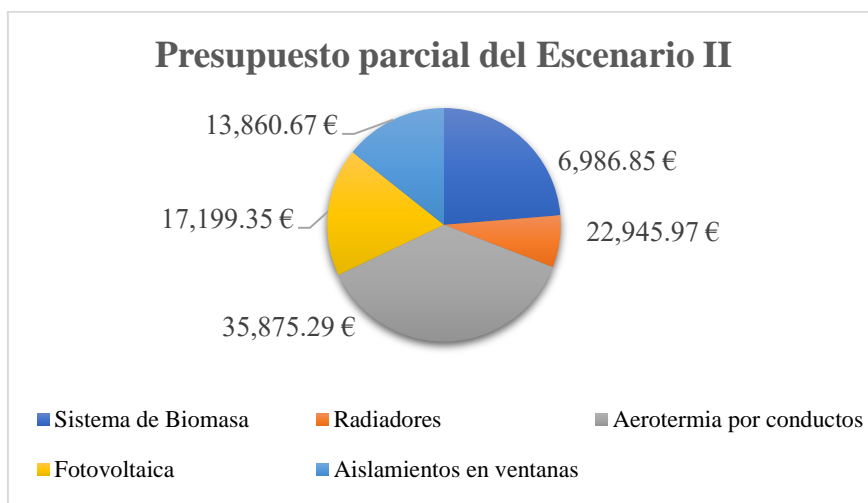


Ilustración 207. Diagrama de sectores del presupuesto total del Escenario II (Fuente: Elaboración Propia)

3.3. PRESUPUESTO TOTAL DEL ESCENARIO III

Tabla 96. Sumas parciales y presupuesto total del Escenario I. (Fuente: Elaboración Propia)

N.º	Apartado	Subtotales (€)
1.	Sistema de Geotermia	57.514,52
2.	Radiadores	6.986,85
3.	Circuito de ACS	4.099,48
4.	Instalación fotovoltaica	19.647,18
5.	Aislamientos en ventanas	13.860,67
	PRESUPUESTO TOTAL	102.108,70 €

Ciento dos mil ciento ocho euros con setenta céntimos

El ingeniero autor del proyecto D. Javier Ros Martín, cuyos honorarios se excluyen del presupuesto total del proyecto.

En Pozuelo de Alarcón, Madrid a 1 de diciembre de 2023.

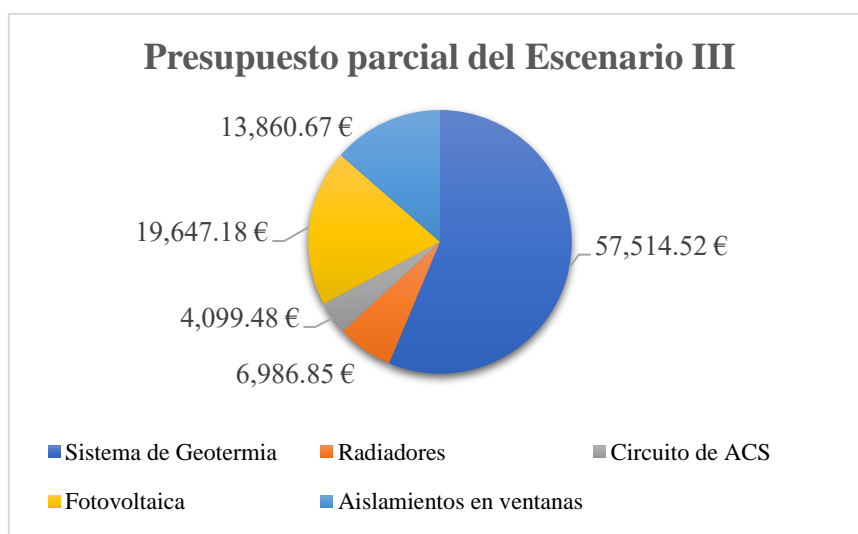
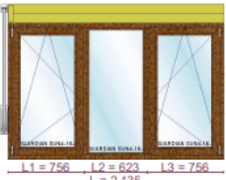

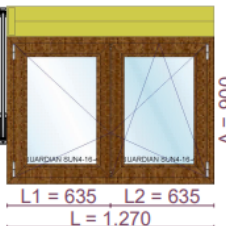


Ilustración 208. Diagrama de sectores del presupuesto total del Escenario I (Fuente: Elaboración Propia)

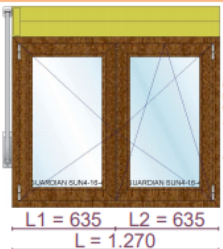

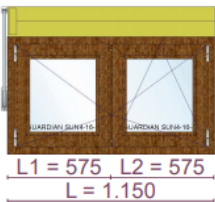
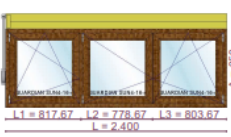
4. ANEXO: OFERTAS REALES

4.1. PROPUESTAS COMUNES A TODOS LOS ESCENARIOS


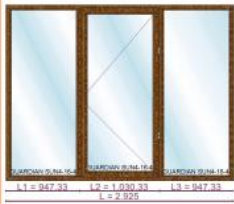


4.1.1. PRESUPUESTO EN VENTANAS REALIZADO POR GARCÍA TAMAYO

Pos. 1	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	779,90	779,90
 <p>Ventana 1 hoja con fijo central</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2.135 - Alto: 1.350</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado , Sistema de Herrajes GU- PROCORMSA SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplust 200x186 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm HERRAJE OSCILOBATIENTE</p>		
Pos. 2	Importe (€)	Total (€)
UDS: 3	766,84	2.300,52
 <p>Ventana de 3 hojas</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2.310 - Alto: 1.050</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado , Sistema de Herrajes GU- PROCORMSA SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplust 200x186 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm HERRAJE OSCILOBATIENTE</p>		
Pos. 3	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	433,89	433,89
 <p>Ventana de 2 hojas</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.270 - Alto: 900</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado , Sistema de Herrajes GU- PROCORMSA SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplust 200x186 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guía de persiana de 40 mm HERRAJE OSCILOBATIENTE</p>		

Javier Ros Martín
PRESUPUESTO

Pos. 4	Importe (€)	Total (€)
	UDS: 1	465,66 465,66
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="flex-grow: 1;"> <p>Ventana de 2 hojas</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.270 - Alto: 1.050</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado , Sistema de Herrajes GU- PROCOMSA SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplast 200x186 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guia de persiana de 40 mm HERRAJE OSCIOBATIENTE</p> </div> </div>		
Pos. 5	Importe (€)	Total (€)
	UDS: 1	257,88 257,88
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="flex-grow: 1;"> <p>Ventana de 1 hoja</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 700 - Alto: 650</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema de Herrajes GU-PROCOMSA, Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplast 170x166 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guia de persiana de 40 mm HERRAJE OSCIOBATIENTE</p> </div> </div>		
Pos. 6	Importe (€)	Total (€)
	UDS: 1	374,59 374,59
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="flex-grow: 1;"> <p>Ventana de 2 hojas</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.150 - Alto: 650</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado , Sistema de Herrajes GU- PROCOMSA SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplast 170x166 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guia de persiana de 40 mm HERRAJE OSCIOBATIENTE</p> </div> </div>		
Pos. 7	Importe (€)	Total (€)
	UDS: 1	703,15 703,15
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="flex-grow: 1;"> <p>Ventana de 3 hojas</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2.400 - Alto: 850</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema de Herrajes GU-PROCOMSA, Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado SIN MONTAJE INCLUIDO Rolaplast 170x166 Tapa Ext PVC, Color Embero Lamas de Aluminio, Color Golden Recogedor Empotrado Ancho 16 mm Guia de persiana de 40 mm HERRAJE OSCIOBATIENTE</p> </div> </div>		

Javier Ros Martín
PRESUPUESTO

Pos. 8	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	333,44	333,44
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="width: 650px;"> <p>Fijo 1 hueco</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 1.915 - Alto: 920</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado</p> </div> </div>		
Pos. 9	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	742,30	742,30
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="width: 650px;"> <p>Balconera de 1 hoja y 2 fijos laterales</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2.925 - Alto: 2.250</p> <p>Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema de Herrajes GU-PROCOMSA, Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado SIN MONTAJE INCLUIDO</p> </div> </div>		
Pos. 10	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	539,11	539,11
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="width: 650px;"> <p>Ventana de 1 hoja</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 915 - Alto: 2.250</p> <p>Sistema de Herrajes GU-PROCOMSA, Barrotillo 18mm , Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado SIN MONTAJE INCLUIDO</p> </div> </div>		
Pos. 11	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	586,01	586,01
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="width: 650px;"> <p>Fijo 1 hueco</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 2.045 - Alto: 1.900</p> <p>Barrotillo 18mm , Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado</p> </div> </div>		

Javier Ros Martín
PRESUPUESTO


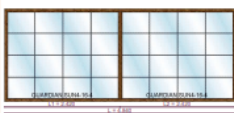
Pos. 12	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	63,54	63,54
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div> <p>ESQUINERO 90 SIN PERSIANA</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: =1.90 - Alto: 1.900</p> <p>esquinero 90°</p> </div> </div>		
Pos. 13	Importe (€)	Total (€)
UDS: 1	1.344,09	1.344,09
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div> <p>Fijo 2 huecos</p> <p>Color: 032 - V. F. 2 CARAS EMBERO Ancho: 4.840 - Alto: 1.900</p> <p>Barrotillo 18mm , Vidrio GUARDIAN SUN 4/16/4 , Sistema Eurofutur de KOMMERLING 70mm 5 cámaras, con refuerzo de acero galvanizado</p> </div> </div>		
Base Imponible en €		8.924,08
I.V.A. (21,00%)		1.874,06
TOTAL en €		10.798,14

Ilustración 209. Oferta real de la empresa García Tamayo por la compra de ventanas (Fuente: García Tamayo)

**4.1.2. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA SEGÚN
NECESIDADES ACTUALES REALIZADO POR LA EMPRESA
ECOPEL**



Datos del proyecto fotovoltaica	
Nombre del proyecto	Calle Travesía de Olmos, 7
Autor	Dpto. Energías Renovables
Fecha	28/11/22
Localización del proyecto	Madrid

Datos geográficos	
Localización	Madrid
Origen de los datos	CENSOLAR e IDAE
Latitud de cálculo	40,25º
Inclinación	30º

Datos instalación	
Potencia contratada (kW):	5 - 5
Peaje de acceso contratado:	2.0TD
Modulo:	Genérico
Wpico:	480 Wp
Cantidad:	24
Pot. Instalación(Wp)	11520Wp
Inversor:	INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 8KW - 230V 2MPPT
Marca:	SAJ
Conexión:	Monofásico
Número MPPT:	2

Características de la instalación de autoconsumo propuesta:	
Potencia pico:	11,52 kWp
Número de módulos:	24
Superficie de módulos:	40,00 m ²
Ángulo de inclinación de los módulos:	30º
Consumo anual:	19009 kWh/año
Energía generada y autoconsumida	22135 kWh/año
% del consumo eléctrico anual cubierto por la instalación de autoconsumo:	90%
% de la producción compensada:	10%
Energía autoconsumida anual:	19921,65 kWh/año
Energía generada compensada:	2213,52 kWh/año

Estudio financiero			
Instalación		Presupuesto (impuestos excluidos)	
Potencia pico (Wp):	11520,00 Wp	Inversión:	18.000,00 €
Producción anual:	22135 kWh /año		
Perdidas anuales producción (0.5%):	0,1%	Datos financieros:	
Mantenimiento anual:	90,00 €		
Seguro anual:	90,00 €		
Energía compensada €/año:	117,32 €	Increment. precio elect.	5,00%
El siguiente presupuesto no incluye subvenciones		IPC:	1,00%
		Tasa descuento:	2,00%

Resumen instalación

Resumen técnico	
Estudio realizado en	Madrid
Potencia instalada	11520,00 Wp
Módulos fotovoltaicos	Genérico
Modelo de inversor	INVERSOR SAJ SERIE R5 DE 8K
Producción anual	22135 kWh /año

Resumen económico	
Inversión inicial	18.000 €
Ahorro acumulado	214.913,54 €
VAN	152.098,62 €
TIR	32%
Payback (años)	4 años

Ilustración 210. Oferta real de la empresa Ecopel por la instalación fotovoltaica en el tejado de la vivienda. (Fuente: Ecopel)

4.2. PROPUESTAS PROPIAS DE CADA ESCENARIO

4.2.1. PRESUPUESTO DE AEROTERMIA CON SUELO RADIANTE

4.2.1.1. Presupuesto de ECOPEL

VALORACIÓN 33814



Fecha: 13/12/2022

DATOS CLIENTE

JAVIER ROS MARTIN
722735588
CALLE TRAVESIA DE OLMOS 7
BOADILLA DEL MONTE

HI PRINT SL

B-59360511
Calle Indústria, 1M
08420 Canovelles, Barcelona
656973180

Concepto	Unid.	Precio
MONOBLOCCO R32 TRIPHASE 30	1	11.900,00 10 % 10.710,00 €
MANO DE OBRA	1	5.120,00 €
DEPOSITO DE INERCIA 100L	1	475,00 €
KIT AEROTERMIA	2 circuito (s)	3.153,00 €
ACS 300L	1	2.163,00 €
SUELO RADIANTE.	370 m2	17.741,50 €
	B.Imposable	39.362,50 €
	IVA (21%)	8.266,13 €
	TOTAL	47.628,63 €

Subvenciones Next Generation

Cálculo de la subvención que **podría obtener** con las ayudas del Fondo Next Generation.

Precio instalación = ~~47.628,63~~ €

Posible subvención máxima a recibir= -2500 €

Posible coste final= **45.128,00 €**

Ecopel facilitará de forma gratuita al cliente toda la información necesaria sobre la instalación para tramitar la subvención. Si desea que Ecopel tramite la subvención por usted, este servicio tiene un coste de 200 € + IVA.

Ecopel no garantiza la concesión de la subvención ni se hace responsable de las resoluciones.

Ilustración 211. Oferta real de la empresa Ecopel por Aerotermia con Suelo Radiante. (Fuente: Ecopel)

4.2.1.2. Presupuesto de suelo radiante de ESAK

Código	Uds	Concepto	PVP	Dto	Total
Suelo radiante					
SRGRAFIPLAC34	300.00	SUELO RADIANTE GRAFIPLAC 34 mm	46,00 €		13.800,00 €
		m2 de suelo radiante compuesto por: Tubo PEX de polietileno reticulado con barrera antidifusión de oxígeno EVAL de 16 x 1.9 mm. Con una densidad media de 8,5 m/m2. Plancha de aislamiento térmico y acústico FITTINGSESTANDAR GRAFIPLAC de espuma de poliestireno expandido autoextinguible EPS GRAFITO con tetones de gran resistencia, con espesor de 34/56 mm, resistencia térmica de 1.26 m2·K/W, densidad aparente de 20 Kg/m3y una reducción del nivel sonoro por impacto de 21-25 dBA. Franja lateral aislante para evitar puentes térmicos y absorber dilataciones del suelo. Aditivo para mortero de cemento. Distribuidores de circuitos UPONOR Vario M, cada uno con sus llaves de corte, regulación y caudalímetro. Incluido accesorios para la instalación. No incluye rozas ni cableado eléctrico entre termostatos y distribuidores.			
SRGRAFIPLAC19	100.00	SUELO RADIANTE GRAFIPLAC 19 mm	43,00 €		4.300,00 €
		m2 de suelo radiante compuesto por: Tubo PEX de polietileno reticulado con barrera antidifusión de oxígeno EVAL de 16 x 1.9 mm. Con una densidad media de 8,5 m/m2. Plancha de aislamiento térmico y acústico FITTINGSESTANDAR GRAFIPLAC de espuma de poliestireno expandido autoextinguible EPS GRAFITO con tetones de gran resistencia, con espesor de 19/41 mm, resistencia térmica de 0.77 m2·K/W, densidad aparente de 20 Kg/m3y una reducción del nivel sonoro por impacto de 21-25 dBA. Franja lateral aislante para evitar puentes térmicos y absorber dilataciones del suelo. Aditivo para mortero de cemento. Distribuidores de circuitos UPONOR Vario M, cada uno con sus llaves de corte, regulación y caudalímetro. Incluido accesorios para la instalación. No incluye rozas ni cableado eléctrico entre termostatos y distribuidores.			
1005605	50.00	CABEZAL ELECTROTÉRMICO UPONOR 230V	63,00 €		3.150,00 €
		Suministro e instalación de cabezal electrotérmico de 230V con rosca macho para colector plástico UPONOR. Válvula de regulación del sistema termostático que actúa sobre el retorno de cada circuito, controlando el caudal de recirculación en función de la señal de un termostato ambiente.			
ARMARIO850	4.00	ARMARIO METÁLICO PARA COLECTOR 850	435,00 €		1.740,00 €
		Armario metálico para colectores 85 cm. Suministro y montaje de caja de inspección para la ubicación de los distribuidores. En chapa zincada barnizada en blanco, con tapa lisa y cerradura. Sistema de fijación con estribos correderos en guías. Dimensiones 720/820 x 850 x 110 mm. Comprende todos los trabajos, materiales y medios necesarios para dejar la unidad totalmente instalada, probada y en estado de funcionamiento, cumpliendo con la normativa vigente.			

Javier Ros Martín
PRESUPUESTO

ARMARIO1000	1.00	ARMARIO METALICO PARA COLECTOR 1000	484,00 €	484,00 €
-------------	------	-------------------------------------	----------	----------

Armario metálico para colectores 100 cm. Suministro y montaje de caja de inspección para la ubicación de los distribuidores. En chapa zincada barnizada en blanco, con tapa lisa y cerradura. Sistema de fijación con estribos correderos en guías. Dimensiones 720/820 x 1000 x 110 mm. Comprende todos los trabajos, materiales y medios necesarios para dejar la unidad totalmente instalada, probada y en estado de funcionamiento, cumpliendo con la normativa vigente.

COLUMNAS	5.00	TUBERÍAS DE CONEXIÓN	695,00 €	3.475,00 €
----------	------	----------------------	----------	------------

Tuberías de conexión entre los distribuidores de suelo radiante y el cuarto de instalaciones. En polietileno reticulado por peróxido, PEX GOL y tubería de cobre en los tramos vistos. Con los diámetros adecuados para asegurar una baja pérdida de carga del sistema. Aislado térmicamente con coquilla de espuma elastómera del espesor indicado en Normativa. Accesorios de conexión fabricados en latón para la tubería de PEX y de cobre con soldadura por capilaridad. Incluidos soportes de las conducciones y accesorios varios para completar la instalación.

99221236	1.00	MAGNA 1 32-100 BOMBA GRUNDFOS	1.622,00 €	1.622,00 €
----------	------	-------------------------------	------------	------------

Grupo hidráulico de circulación compuesto por: bomba electrónica marca Grundfos modelo MAGNA1 32-100 de bajo consumo electrónica, que variando las revoluciones mantiene presión constante en el circuito independientemente de las zonas con demanda de calefacción/refrescamiento, incluso válvulas de corte y retención, termómetros, accesorios de conexión y soporte.

TOTAL Suelo radiante 28.571,00 €

Código	Uds	Concepto	PVP	Dto	Total
Regulación					
P04543	15.00	BTDP TERMOSTATO DIGITAL WATTS	79,00 €		1.185,00 €
<p style="font-size: small;">Termostato digital programable marca WATTS modelo BTDP para instalaciones de calefacción. Pantalla LCD retroiluminada. Función ON/OFF. Modo confort, automático, reducida, antihielo, selector programación, bloqueo, vacaciones..etc. Programador diario o semanal. (No incluye cableado en el sistema de regulación).</p>					
P2090	5.00	CAJA MASTER 6 ZONAS WATTS	71,70 €		358,50 €
P2092	5.00	CAJA SLAVE 6 ZONAS WATTS	56,20 €		281,00 €
TOTAL Regulación					1.824,50 €

Ilustración 212. Oferta real de la empresa ESAK por la instalación de suelo radiante (Fuente: ESAK)

4.2.2. ESCENARIO II. CALDERA DE BIOMASA CON RADIADORES Y AEROTERMIA POR CONDUCTOS

4.2.2.1. Presupuesto de la instalación de biomasa por Hargassner

Partida	TOTAL PRESUPUESTO	18.963,61 €			
DESCRIPCION	Importe con IVA	22.945,97 €			
Código	NotC	Resumen	CanPres		
UHAR62ca		Caldera de pellets, Smart-PK32 9,6-32 kW Caldera de pellets HARGASSNER Smart-PK32 9,6-32 kW, eficiencia energética A+. Medidas de la caldera (alto x ancho x fondo) 1520x1080x650 mm, y medidas de colocación de 1520x573x575 mm. Capacidad calorífica a carga máxima de 33,6 kW. Capacidad de agua de 42 l. Para el funcionamiento con: Pellets según Ö-Norm 7135 o EN ISO 17225-2 clase A1. Incluye transporte y puesta en marcha de la caldera (requisito de garantía) con análisis de humos, y firm. del cliente la caldera calderas debe estar lista para su puesta en marcha	1,00	8.883,64 €	8.883,64 €
PHARGWT-MAX16X20		Silo textil GWT-MAX 160x200, aspiración directa Silo textil GWT-MAX 160x200, aspiración directa	1,00	3.615,93 €	3.615,93 €
PHARNANO32-IHM		Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32 Acc, carga/protección de back-end Módulo básico hidráulico IHM Nano-PK 20-32 Acc, carga/protección de back-end, de HARGASSNER.	1,00	1.098,63 €	1.098,63 €
PHARHKF.1		Sonda calefacción con kit de fijación Sonda calefacción con kit de fijación, de HARGASSNER.	5,00	46,81 €	234,05 €
PHARUV-HKV1.1		Válvula de conmutación hasta 30 kW Válvula de conmutación UV-HKV1.1 de HARGASSNER, hasta 30 kW: HKV1", incl. 1 sonda para calor externo o inercia.	1,00	186,29 €	186,29 €
PHARTAS95.1		Válvula de descarga térmica 95°C Válvula de descarga térmica 95°C, ref. TAS95.1 de HARGASSNER.	1,00	205,39 €	205,39 €
PHARZSP-PF.1		Placa reg. ACS Esta placa adicional amplía el control en 1 circuito de calefacción con mezcladora y regulación por sonda exterior y a un acumulador de ACS con recirculación. La placa se puede montar directamente en la caldera o en el interior de los módulos HKM o HKR. El circuito de calefacción se designa como circuito A. Solo es posible conectar una placa A por caldera y por HKR.	1,00	167,18 €	167,18 €
PLAECV150M1		Depósito Domusa DUO 750 /100 Depósito inercia de 750 con depósito producción ACS 190 litros	1,00	1.785,67 €	1.785,67 €
UIDIN025		Chimenea modular doble pared aislada INDX DP316L/304 Ø175 mm Suministro y montaje de chimenea modular aislada diámetro nominal 175 mm marca DINAK, gama DP, fabricada en acero inoxidable AISI 316L (1.4404) interior y AISI 304 (1.4301) exterior, con aislamiento continuo de lana de roca de 30 mm de espesor y densidad 100 kg/m3. Con pestaña anticorte en los bordes, ausencia de puente térmico y absorción individual de dilataciones en cada elemento. Marcado CE según UNE EN 1856-1 para aplicación en seco y tiro natural, con combustible gas, gasóleo o sólido (leña, pellets...). Incluye parte proporcional de accesorios, desviaciones, abrazaderas y elementos de fijación.	5,00	184,47 €	922,33 €
PPOTUR250471CS		Vaso de expansión MAXIVAREM LR 50 lL, 1" M Vaso de expansión a membrana, MAXIVAREM LR de POTERMIC, para calefacción, temp. de trabajo -10 °C + 99 °C, presión máx. 6 bar, presión de precarga 1,5 bar, 50 litros, de dimensiones Øint 624x1006 mm, conexión 1 1/2" M. Con membrana recambiable para calefacción, uso no potable.	1,00	171,37 €	171,37 €
PBAX14811006		Accesorios Tuberías y demás material Accesorios, tuberías, soportación aislantes y demás material para la instalación de los elementos descritos	1,00	1.693,13 €	1.693,13 €

Ilustración 213. Oferta real de la empresa Hargassner por la caldera de biomasa con depósito de inercia y silo. (Fuente: Hargassner)

4.2.2.2. Presupuesto de los radiadores por la tienda CalorOnline

Ref.	Descripción	Uds	Precio	Neto
FEREUROPA450C	Europa 450 C web 2 x 13 elementos	26	6,28€	163,28€
FEREUROPA600C	Europa 600 C web 1 x 5 elementos 1 x 7 elementos 1 x 8 elementos 1 x 12 elementos 2 x 13 elementos 6 x 14 elementos	142	5,85€	830,70€
FEREUROPA700C	Europa 700 C web 2 x 7 elementos 2 x 12 elementos 2 x 13 elementos 1 x 14 elementos	78	7,33€	571,74€
FEREUROPA800C	Europa 800 C web 1 x 9 elementos 1 x 10 elementos 1 x 12 elementos 5 x 14 elementos	101	9,95€	1.004,95€
KT11114	Kit Accesorios Radiador Bitubo Llave Termostatica y Purg. Autom. web El conjunto de accesorios para la instalación completa del radiador	29	42,65€	1.236,85€
Subtotal :				3.807,52€
Descuento 3.5%				
Total Descuento :				133,26€
Portes :				150,00€
Base Imponible :				3.824,26€
IVA : 21% :				803,09€
Total Presupuesto :				4.627,35€

*Ilustración 214. Oferta real de la tienda CalorOnline por la compra de los radiadores.
(Fuente: CalorOnline)*

Javier Ros Martín
PRESUPUESTO

4.2.2.3. Presupuesto de la aerotermia por conductos de Ecopel



PRESUPUESTO	PAG.	FECHA
1 001189	1	29/11/2022

HI-PRINT, SL
C/ INDÚSTRIA 109 NE
08420 CANOVELLES
BARCELONA
(t) 931589186
(f) 93710 93 42
info@ecopel.es

Javier Ros Martin
Calle Travesia de Olmos 7
28660 MADRID
MADRID
722735588
rosjavi11@yahoo.es

AIRE ACONDICIONADO CONDUCTOS HTW

Codigo	Descripción	Ud.	Precio Ud.	Subtotal	Dto.	Total
	2X1 HTW (PLANTA BAJA) 2x9/16KW 2DO90ADM32T3 R32 (INCLUYE 2 TERMOSTATOS)	1	4.580,00	4.580,00	10 %	4.122,00
	1X1 HTW (PLANTA ALTA) 1x14,07/16,12KW 140ADM32 R32 (INCLUYE 1 TERMOSTATO)	1	3.800,00	3.800,00	10 %	3.420,00
	SOPORTES DE APOYO DE CAUCHO (ANTIVIBRACIÓN)	2	90,00	180,00		180,00
	METROS CONDUCTOS + ADAPTADORES + REJILLAS DE VENTILACIÓN	69	68,00	4.692,00		4.692,00
	COBRE METROS CONDUCTO + GAS R32	125	35,00	4.375,00		4.375,00
	TUBO FLEX 200 (17M)	2	80,00	160,00		160,00
	MANO DE OBRA	1	3.200,00	3.200,00		3.200,00

BASE IMPONIBLE 20.149,00
IVA AL 21% 4.231,29

TOTAL 24.380,29

TRANSFERENCIA BANCARIA BANCO SABADELL IBAN ES63 0081 0556 7500 0160 2563

PAGO: 50% PAGA SEÑAL + 50% AL FINALIZAR INSTALACIÓN
POSIBILIDAD DE FINANCIAR DE 3 A 36 MESES SIN INTERESES

HI-PRINT, SL NIF B59360511 C.Roger de Flor, 231 7-2 08025 Barcelona(Barcelona) Reg. Mercantil de Barcelona, Tomo 20215, Folio 184, Hoja B 3248, inscripción 6ª

Ilustración 215. Oferta real de la empresa Ecopel por la instalación y compra de Aerotermia por conductos. (Fuente: Ecopel)

4.2.3. ESCENARIO III. PRESUPUESTO DE GEOTERMIA REALIZADO POR GEOINTEGRAL

6.1. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA			
CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UD.	IMPORTE
<p>Bomba de calor geotérmica CLAUDIUS, modelo CLASSIC HC 5-25 DS, con tecnología inverter, con circulación de velocidad variable, inversor de ciclo, incluyendo sensor de temperatura interior y conexiones hidráulicas. -COP: 5,01 -Potencia Calefacción y ACS: 5 a 25 kW -Potencia Refrigeración: 6 a 30 kW</p> <p>Sistema de monitorización remota mediante módulo adicional, incluido en la bomba de calor geotérmica para su conexión a internet y disponer de un acceso ilimitado desde cualquier dispositivo móvil, Tablet u ordenador a su estado, condiciones de funcionamiento, visualización de alarmas y configuración, su encendido o apagado a distancia.</p>	<p>1 unidad</p> 	13 641,60€	13 641,60€
<p>Campo de captación compuesto por cuatro perforaciones de 120 metros incluida sonda simple, pesa, tubo de inyección, y mortero geotérmico, así como la p.p. de gestión de lodos y transporte de maquinaria. Incluye el conexionado horizontal del campo de captación mediante canalización hasta sala técnica desde el captador, arqueta colectora geotérmica con válvulas de corte, purgado y llenado. Incluye relleno de propilenglicol, accesorios electrosoldados, prueba de estanqueidad y conexión a bomba de calor.</p>	1 unidad	26 782,41€	26 782,41€
<p>Proyecto de perforación y legalización del campo de captación en la delegación de Industria y Minas, así como el pago de tasas correspondientes.</p>	1 unidad	1 365,47€	1 365,47€
<p>Depósito de inercia marca IDROGAS modelo AR-A100 de 100 litros de capacidad. Apto tanto para aplicaciones de calefacción como de refrigeración. Fabricado en acero negro, con aislamiento térmico en espuma rígida de poliuretano inyectado libre de CFC, con un acabado exterior en aluminio gofrado.</p>	1 unidad	1 232,56€	1 232,56€
<p>Bomba circuladora de alta eficiencia marca DAB o similar, necesaria para el correcto funcionamiento del circuito secundario de climatización.</p>	1 unidad	545,94€	545,94€
<p>Conexión hidráulica entre bomba de calor geotérmica como elemento de producción de energía y el acumulador de agua caliente sanitaria ya existente. para el correcto funcionamiento de la instalación.</p>	1 unidad	624,68€	624,68€
<p>Prueba y puesta en marcha: la instalación geotérmica se entrega totalmente instalada y probada por personal propio de Geotermia Integral S.L.</p>			
TOTAL INSTALACIÓN GEOTÉRMICA (sin IVA)			44 192,66 €

Javier Ros Martín
PRESUPUESTO

COSTES ADICIONALES			
CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UD.	IMPORTE
En el caso de no disponer de toma eléctrica trifásica en obra, será necesario el alquiler de un GRUPO ELECTRÓGENO de 20kvas , siendo necesario para la inyección de mortero geotérmico. Puesto a pie de obra y retirada del mismo.	1 unidad	280,00 €	280,00 €
En el caso de que Geointegral realice la DESINSTALACIÓN Y RETIRADA DE ELEMENTOS EXISTENTES, Caldera de gas , así como desconexión hidráulica del acumulador de ACS instalado actualmente para su correcto aprovechamiento en la instalación geotérmica.	1 unidad	560,00€	560,00€
APERTURA Y CIERRE DE ZANJA para conexionado horizontal de la instalación	1 unidad	2 500,00€	2 500,00€

Ilustración 216. Oferta real de la empresa GeoIntegral por la instalación y compra del sistema de Geotermia en la vivienda. (Fuente: GeoIntegral)