



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**CLIMATIZACIÓN AUTOSUFICIENTE DE UN
CORTIJO EN CAMPILLOS DE ANTEQUERA**

Autor: Ana Capella Núñez

Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid- 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**CLIMATIZACIÓN AUTOSUFICIENTE DE UN CORTIJO EN CAMPILLOS DE
ANTEQUERA**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 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.: Ana Capella Núñez

Fecha: 24/08/2023

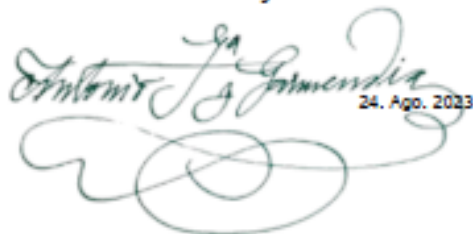


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Dr. Antonio García y de Garmendia

Fecha: 24/08/2023





COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

**CLIMATIZACIÓN AUTOSUFICIENTE DE UN
CORTIJO EN CAMPILLOS DE ANTEQUERA**

Autor: Ana Capella Núñez

Director: Dr. Antonio García y de Garmendia

Madrid-2023

CLIMATIZACIÓN AUTOSUFICIENTE DE UN CORTIJO EN CAMPILLOS DE ANTEQUERA

Autor: Capella Núñez, Ana.

Director: García y de Garmendia, Dr. Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

“El puerto” se trata de un cortijo familiar, ubicado en la provincia de Málaga, más concretamente en la ciudad de Campillos. Datado de principios del siglo veinte, en sus inicios se usaba como centro de apoyo a las actividades agrícolas y ganaderas de alrededor.



Ilustración 1: Vista Cortijo. Fuente: Elaboración Propia (2022)

Con este proyecto se busca darle una nueva vida al cortijo, para que pueda usarse como segunda residencia en los periodos de vacaciones. Se busca al desarrollar el proyecto ser eficiente y sostenible, de manera que se impacte lo mínimo posible a la fauna y flora de la zona rural en la que se encuentra el edificio.

La climatización de la vivienda pretende que se pueda disfrutar de esta durante las vacaciones de verano e invierno, para ello se diseñará un sistema de calefacción y refrigeración. Investigando sistemas sostenibles y eficientes de climatización, se llega a la conclusión de que la aerotermia es la mejor fuente de energía renovable para usar en este caso.

Se diseña un sistema de climatización que combina el uso de una bomba reversible de calor aerotérmica con un sistema de fan-coils de conductos. Para realizar este diseño se estiman las cargas térmicas, que ascienden a 7.4kW en calefacción y 4.7kW en refrigeración.

Como la bomba de calor escogida deberá también ser suficiente para abastecer la demanda de ACS, se calcula esta, que es de 8.7kW.

Se escogen como sistema de climatización dos aparatos capaces de generar esta potencia, la bomba de calor aroTHERM plus 8 con acumulación ACS de 150 l y módulo hidráulico, con un COP de 4,57 y los fan-coils de conductos VA 1-040 DN y VA 1-060 DN, ambos equipos de la marca Vaillant.

Como se trata de una vivienda rural, no se dispone de conexión a la red eléctrica española, por lo que por ser sostenibles a la vez que eficientes se decide instalar un sistema fotovoltaico para abastecer la demanda eléctrica de la vivienda.

Se calcula la demanda eléctrica y se obtiene una demanda eléctrica de 55.5kWh. Para satisfacerlos se diseña un sistema fotovoltaico que cuenta con 20 módulos solares de la marca Vaillant y su inversor correspondiente del kit fotovoltaico auroPower, estas placas tienen una potencia pico de 400Wp la unidad.

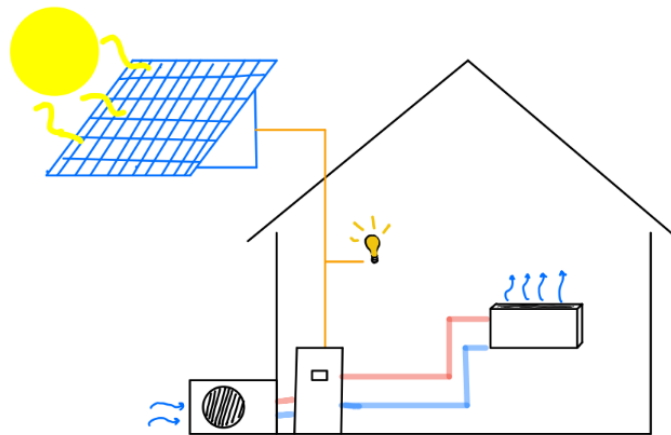


Ilustración 2: Esquema simplificado del sistema. Fuente: elaboración propia (2023)

Una vez diseñado el sistema de aerotermia y placas solares se procede a realizar un análisis de rentabilidad económica del proyecto, para ello se calculan los gastos del sistema de aerotermia y el sistema fotovoltaico, así como el ahorro de este sistema frente a uno convencional conectado a la red eléctrica y con una caldera de condensación de gas natural.

Se consigue una rentabilidad del 18% en 25 años y un VAN de 37,856.32 € lo que prueba que se trata de una buena inversión a pesar de su gran inversión inicial.

Palabras clave: Climatización, cargas térmicas, cortijo, sistema fotovoltaico, sistema off-grid, rural.

SELF-SUFFICIENT CLIMATE CONTROL OF A COUNTRY HOUSE IN CAMPILLOS OF ANTEQUERA

Author: Capella Núñez, Ana.

Supervisor: García y de Garmendia, Dr. Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

"El Puerto" is a family farmhouse, located in the province of Malaga, more specifically in the town of Campillos. Dating from the early twentieth century, in its beginnings it was used as a support centre for agricultural and livestock activities around.



Ilustración 3: Cortijo View. Source: Own elaboration (2022)

This project seeks to give a new life to the farmhouse, so that it can be used as a second home during vacation periods. The project seeks to be efficient and sustainable, in order to have the least possible impact on the fauna and flora of the rural area in which the building is located.

The climate control system of the house is intended to be enjoyed during the summer and winter vacations, for this a heating and cooling system will be designed. Researching sustainable and efficient air conditioning systems, it was concluded that aerothermal energy is the best renewable energy source to use in this case.

An air conditioning system is designed that combines the use of a reversible aerothermal heat pump with a ducted fan coil system. For this design, the thermal loads are estimated to be 7.4kW for heating and 4.7kW for cooling.

As the heat pump chosen should also be sufficient to supply the DHW demand, this is calculated to be 8.7kW.

Two devices capable of generating this power are chosen as air conditioning system, the aroTHERM plus 8 heat pump with DHW storage of 150 l and hydraulic module, with a COP of 4.57 and the VA 1-040 DN and VA 1-060 DN ducted fan coils, both Vaillant brand equipment.

As it is a rural house, there is no connection to the Spanish electricity grid, so to be sustainable and efficient at the same time, it was decided to install a photovoltaic system to supply the electricity demand of the house.

The electrical demand is calculated and an electrical demand of 55.5kWh is obtained. To meet this demand, a photovoltaic system is designed with 20 Vaillant solar modules and their corresponding inverter from the auroPower photovoltaic kit, these panels have a peak power of 400Wp per unit.

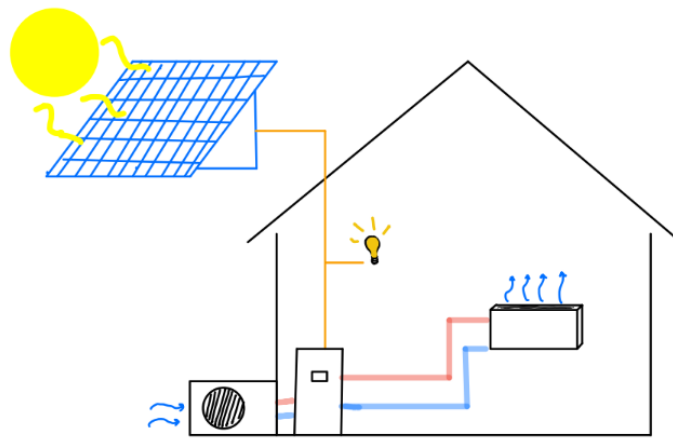


Ilustración 4: simplified scheme of the system. Source: own elaboration (2023)

Once the arothermal system and solar panels have been designed, an economic profitability analysis of the project is carried out, calculating the costs of the arothermal system and the photovoltaic system, as well as the savings of this system compared to a conventional one connected to the electricity grid and with a natural gas condensing boiler.

A return of 18% in 25 years and an NPV of 37,856.32 € is achieved, which proves that it is a good investment despite its large initial investment.

Keywords: Air conditioning, thermal loads, farmhouse, photovoltaic system, off-grid system, rural.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>IV</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>VI</i>
Capítulo 1. Planificación del proyecto	9
1. Estado de la cuestión	9
2. Motivación del proyecto	14
3. Objetivos	14
4. Recursos	15
5. Metodología	16
6. Conclusiones de la planificación del proyecto	17
Capítulo 2. Elección y contexto del edificio	18
1. Elección del edificio	18
2. Conclusiones de la elección y contexto del edificio	24
Capítulo 3. Normativa vigente	25
1. Normativa del sector	25
2. ayudas y subvenciones	25
3. conclusiones sobre la normativa vigente	26
Capítulo 4. Cálculo de cargas térmicas	27
1. Condiciones externas y de confort	27
2. Cálculo de cargas térmicas	29
3. Conclusiones	48
Capítulo 5. Demanda energética de Agua Caliente Sanitaria	50
1. Caudal total de la vivienda	50
2. Caudal instantáneo de la vivienda	51
3. Demanda de energía	52

4. Conclusión.....	54
Capítulo 6. Elección de equipos de climatización	55
1. Aerotermia.....	55
2. SISTEMA COMBINADO DE AEROTERMIA Y FAN-COILS DE CONDUCTOS.	58
3. Conclusiones	69
Capítulo 7. Diseño del sistema de producción de energía eléctrica.....	71
1. Energía solar fotovoltaica.....	71
2. Demanda de potencia eléctrica.....	75
3. Dimensionamiento del sistema.....	78
4. Conclusiones	85
Capítulo 8. Análisis económico del proyecto	87
1. Presupuesto.....	87
2. Batería vs Generador	88
3. ayudas y subvenciones	90
4. Análisis de rentabilidad.....	91
5. conclusiones sobre el análisis económico	95
Capítulo 9. Conclusiones y futuros desarrollos.....	96
1. Conclusiones	96
2. Futuros desarrollos	98
Bibliografía	100
ANEXO I: Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....	105
ANEXO II: Planos del edificio.	106
1. Planta baja	106
1. Planta primera.....	108
109	
ANEXO III: Especificaciones de equipos seleccionados.....	111
2. Bomba de Aerotermia vaillant.....	111
3. Fan-coils de conductos vaillant	114
4. Sistema fotovoltaico vaillant	115

Índice de figuras

<i>Ilustración 1: Vista Cortijo. Fuente: Elaboración Propia (2022)</i>	4
<i>Ilustración 2: Esquema simplificado del sistema. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	5
<i>Ilustración 3: Cortijo View. Source: Own elaboration (2022)</i>	7
<i>Ilustración 4: simplified scheme of the system. Source: own elaboration (2023)</i>	8
<i>Ilustración 5: Vista Cortijo. Fuente: Elaboración Propia (2022)</i>	10
<i>Ilustración 6: Clima en Campillos. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	11
<i>Ilustración 7: Funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico off-grid. Fuente: (2023)</i>	14
<i>Ilustración 8: Fachada Cortijo "El Puerto". Fuente: elaboración propia (2023).</i>	18
<i>Ilustración 9: Vista aérea del cortijo 2006. Fuente: Google Earth (2023).</i>	20
<i>Ilustración 10: Vista aérea del cortijo 2023. Fuente: Google Earth (2023).</i>	20
<i>Ilustración 11: Clima en Campillos. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	22
<i>Ilustración 12: Parque eólico Los Arcos. Fuente: Endesa (2023).</i>	23
<i>Ilustración 13: Ubicación del cortijo dentro del término municipal de Campillos. Fuente: Google Earth (2023)</i>	23
<i>Ilustración 14: Ubicación de Campillos dentro de la Provincia de Málaga. Fuente: Wikipedia (2023)</i>	24
<i>Ilustración 15: Esquema de funcionamiento de una instalación aerotérmica. Fuente: Iberdrola (2023)</i>	56
<i>Ilustración 16: Sistema combinado de aerotermia + fancoils. Fuente: Baxi (2023)</i>	59
<i>Ilustración 17: aroTHERM split con módulo hidráulico, depósito de agua caliente uniSTOR y control del sistema sensoCOMFORT. Fuente: Vaillant (2023).</i>	61
<i>Ilustración 18: Simplificación distribución de fan-coils planta baja. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	65
<i>Ilustración 19: Simplificación distribución de fan-coils planta primera. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	65
<i>Ilustración 20: Dimensiones fan-coil conductos Vaillant. Fuente: Vaillant (2023).</i>	67
<i>Ilustración 21: Fan-coil de conductos. Fuente: Vaillant (2023).</i>	68
<i>Ilustración 22: Tipos de radiación solar. Fuente: Sfe solar (2019)</i>	72
<i>Ilustración 23: Radiación solar en el cortijo en 2020. Fuente: PVGIS-5 (2023)</i>	73
<i>Ilustración 24: Dimensión de un panel fotovoltaico. Fuente: Vaillant (2023)</i>	79
<i>Ilustración 25: Imagen aérea del cortijo. Fuente: Google Earth (2023)</i>	82
<i>Ilustración 26: Energía generada mensualmente con 24 paneles fotovoltaicos. Fuente: PVGIS-5 (2023)</i>	83
<i>Ilustración 27: Energía generada mensualmente con 20 paneles fotovoltaicos. Fuente: PVGIS-5 (2023)</i>	84
<i>Ilustración 28: Especificaciones bomba de calor aroTHERM split. Fuente: Vaillant (2023)</i>	112
<i>Ilustración 29: Especificaciones bomba de calor aroTHERM split. Fuente: Vaillant (2023)</i>	113

<i>Ilustración 30: Características fan-coils Vaillant. Fuente: Vaillant (2023)</i>	<u>114</u>
<i>Ilustración 31: Características inversor Vaillant. Fuente: Vaillant (2023)</i>	<u>115</u>
<i>Ilustración 32: Características módulos Vaillant. Fuente: Vaillant (2023)</i>	<u>116</u>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Condiciones de confort interiores de diseño. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del RITE (2021)</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2: Condiciones climáticas exteriores en Málaga (Aeropuerto). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Guía técnica: Condiciones climáticas exteriores de proyecto IDAE (2010)</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 3: Condiciones climáticas exteriores y de confort para refrigeración. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del programa "Cargas" de Atecyr (2023)</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4: Condiciones climáticas exteriores y de confort para calefacción. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del programa "Cargas" de Atecyr (2023)</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5: Definición de zonas y ocupación. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6: Tipos de cargas térmicas. Fuente: J.M. Pinazo. Cálculo de cargas térmicas. ATECYR (2020)</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7: Distribución de cargas radiación y convección. Fuente: Cálculo de Cargas Térmicas J.M. Pinazo (2020)</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 8: Coeficientes para radiación no solar, cerramientos exteriores. Fuente: Cálculo de cargas térmicas, J.M. Pinazo (2020)</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 9: Coeficientes para radiación solar. Fuente: Cálculo de cargas térmicas, J.M. Pinazo (2020)</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 10: Superficies y orientaciones de los muros exteriores de cada zona. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 11: Superficie de ventana en cada zona. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12: Característica de cerramientos opacos. Fuente: Elaboración propia a partir del CTE (2018)</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 13: Características de las ventanas. Fuente: elaboración propia. Datos CTE (2018)</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 14: Cargas de transmisión Calefacción en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 15: Cargas de transmisión Refrigeración en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 16: Características exteriores infiltración. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 17: Cargas por infiltración Calefacción en W. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 18: Cargas por infiltración Refrigeración en W. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 19: Características para el cálculo de cargas internas. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 20: Especificaciones cargas internas de ocupantes calefacción. Fuente: Elaboración propia partiendo de los datos de "Clima v2" ATECYR (2023)</i>	<i>44</i>

<i>Tabla 21: Especificaciones cargas internas de ocupantes refrigeración. Fuente: Elaboración propia partiendo de los datos de "Clima v2" ATECYR (2023)</i>	44
<i>Tabla 22: Cargas térmicas internas Calefacción en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	45
<i>Tabla 23: Cargas térmicas internas Refrigeración en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	45
<i>Tabla 24: Cargas térmicas mayoración Calefacción en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	46
<i>Tabla 25: Cargas térmicas mayoración Refrigeración en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	47
<i>Tabla 26: Cargas térmicas totales por estancia para climatización y refrigeración. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	48
<i>Tabla 27: Cargas totales de refrigeración y Calefacción. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	48
<i>Tabla 28: Caudales mínimos de aparatos sanitarios. Fuente: CTE (2022).</i>	50
<i>Tabla 29: Número de aparatos en la vivienda. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	51
<i>Tabla 30: Parámetros necesarios para el cálculo del caudal instantáneo. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	52
<i>Tabla 31: Caudales simultáneos. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	52
<i>Tabla 32: Demanda de ACS mensual. Fuente: Elaboración Propia (2023)</i>	54
<i>Tabla 33: Demanda total de energía de ACS. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	54
<i>Tabla 34: Total demanda a satisfacer por la bomba de calor. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	60
<i>Tabla 35: Potencias de calefacción y refrigeración. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	60
<i>Tabla 36: Comparación de bombas de aerotermia. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	60
<i>Tabla 37: Zonas y cargas de climatización. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	63
<i>Tabla 38: Temperaturas entrada y salida de los fancoils. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	64
<i>Tabla 39: Caudales de los fancoils. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	64
<i>Tabla 40: Características que tienen que cumplir los fancoils. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	66
<i>Tabla 41: Comparador de precios de los distintos modelos de fan-coils. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	67
<i>Tabla 42: Dimensión de la sección de los conductos. Fuente: Elaboración propia (2023).</i>	69
<i>Tabla 43: Irradiancia en 2020. Fuente: PVGIS-5 (2023).</i>	74
<i>Tabla 44: Promedio de horas solares pico diarias en Campillos. Fuente: PVGIS-5 (2023).</i>	75
<i>Tabla 45: Características eléctricas de los circuitos. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del reglamento electrotécnico de baja tensión. (2023)</i>	76
<i>Tabla 46: Demanda máxima diversificada de luminarias. Fuente: Elaboración propia. (2023)</i>	77
<i>Tabla 47: Cargas de aparatos conectados a la toma de corriente. Fuente: Elaboración propia. (2023)</i>	77
<i>Tabla 48: Cargas aparatos especiales. Fuente: Elaboración propia. (2023)</i>	78
<i>Tabla 49: Energía mensual producida por un módulo fotovoltaico de 400Wp. Fuente: PVGIS-5 (2023)</i>	80
<i>Tabla 50: Demanda energética mensual en kWh. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	81

<i>Tabla 51: Demanda y energía generada. Fuente: Elaboración propia. (2023).....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 52: Presupuesto de los aparatos del proyecto. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 53: Presupuesto de baterías para la instalación. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 54: Demanda y energía generada. Fuente: Elaboración propia (2023).....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 55: Presupuesto final de aparatos. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 56: Presupuesto final tras subvenciones. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 57: Gasto en climatización y ACS mensual con una caldera de gas natural. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 58: Gasto en energía eléctrica con un sistema conectado a la red. Fuente: Elaboración propia (2023)</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 59: Flujos de carga del proyecto. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 60: VAN y TIR del proyecto. Fuente: elaboración propia (2023)</i>	<i>94</i>

Capítulo 1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

La sustitución de energías de combustión de fósiles por las energías renovables es clave para frenar la situación actual, algo más de un cuarto de la electricidad proviene de fuentes de energía renovables eólicas y solares que, al contrario que los combustibles fósiles, emiten poca o ninguna cantidad de gases o contaminantes en el aire.¹

De esta generación de energía más de la mitad va destinada a la climatización de edificios tanto residenciales como comerciales, además, el precio del gas en España ha subido considerablemente, por lo tanto, pasar de una caldera de gas a una que sea alimentadas por fuentes renovables para la climatización del cortijo es una de las mejores opciones económicamente.

El proyecto “Climatización autosuficiente de un cortijo en Campillos de Antequera” busca diseñar el sistema de climatización de un cortijo situado en la provincia de Málaga, estudiando el entorno, y las necesidades energéticas de la finca, para diseñar un sistema eficiente y sostenible.

Al ser una finca rural, se diseñará un sistema energético *off grid* que alimente la finca, este sistema será alimentado por energías renovables. Se estudiarán los recursos que ofrece la finca para decidir cuál es el tipo de energía renovable más eficiente. Siempre teniendo en cuenta la viabilidad económica del proyecto.

1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La palabra cortijo sirve para denominar tanto a una explotación agrícola como al conjunto de construcciones y edificaciones rurales que sustenta. En este caso nos encontramos un cortijo con una explotación agrícola de tierra calma y olivo. Un cortijo puede contar con una

¹ ONU (2023)

única vivienda o con un núcleo de edificaciones que se sitúan en torno a un patio. Suelen estar contruidos siguiendo el sistema tradicional de las edificaciones andaluzas en el entorno rural, cuentan con grandes muros macizos de ladrillo o tapial, encalados y con pocos huecos, y cubiertas de parhilara con entrañados de vigas de madera y grandes paños de tejas en los faldones.²

El cortijo “El Puerto”, se trata de una construcción de principios del siglo XX, reformada por última vez en los años 70. Al encontrarse cerca del olivar que lo sustenta, está lejos de un núcleo urbano y por tanto no está conectado a la red eléctrica, no obstante, cuenta con conexión a una fuente de agua.



Ilustración 5: Vista Cortijo. Fuente: Elaboración Propia (2022)

Andalucía presenta un invierno húmedo, lluvioso y técnicamente suave, mientras que su verano es seco y muy caluroso en amplias zonas de la región, dando lugar generalmente a necesidad de refrigeración, viéndose esta necesidad en aumento debido al efecto del cambio

² Valor Guerra (2016).

climático en España. Una de las variables meteorológicas que ejerce más influencia en la demanda energética es la temperatura ambiental.³ Como se puede observar a continuación, la temperatura media mensual en Campillos (T_{m_mes}) oscila entre los 9,3 y los 27,9 °C, lo que confirma lo dicho anteriormente sobre los inviernos y veranos andaluces. En el gráfico también se observan las temperaturas máximas y mínimas mensuales alcanzadas (t_{a_max} y t_{a_min}).

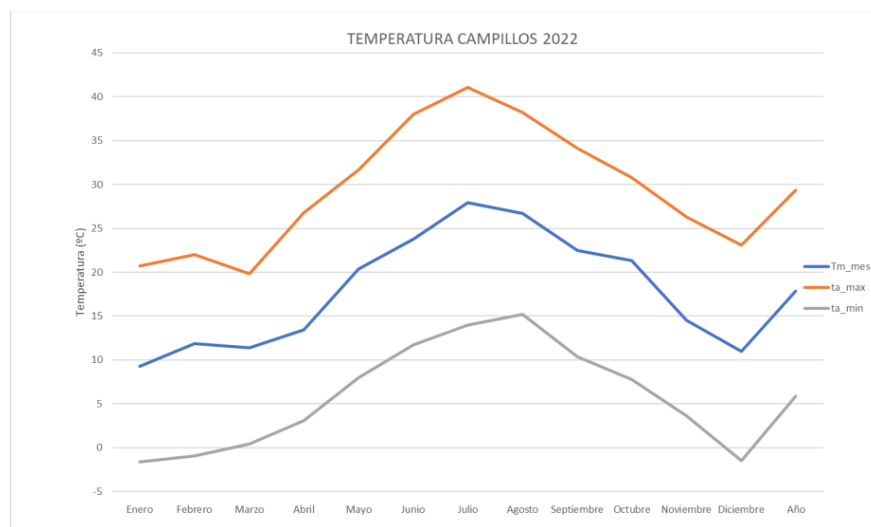


Ilustración 6: Clima en Campillos. Fuente: Elaboración propia (2023)⁴

Campillos al encontrarse en la parte interior de la provincia de Málaga, cuenta con un clima subcontinental de inviernos fríos; utilizando una temperatura de confort base de 20°C durante el día y 17°C durante la noche, se observa que se necesitarían tanto un sistema de calefacción como uno de refrigeración para conseguir una temperatura óptima durante todo el año.

Actualmente no se dispone de mucha información sobre la climatización específica de cortijos andaluces, pero sí de rehabilitaciones climáticas de distintas casas rurales a lo largo del territorio español, en todas estas los objetivos son comunes: conseguir el confort ambiental de la vivienda respetando el medioambiente y aprovechando al máximo los

³ Marzo Artigas (2016).

⁴ Gráfico de elaboración propia, datos sacados de AEMET estación de Antequera (2022)

recursos que ofrezca la finca, preservando la tipología y la estructura arquitectónica del edificio.

Uno de los problemas más habituales a la hora de climatizar este tipo de edificios antiguos suele ser la carencia de información, además de la búsqueda del equilibrio entre confort y sostenibilidad, sin dañar o modificar la esencia cultural del edificio.⁵

Hay sistemas, que permiten no cambiar en exceso la arquitectura del edificio, como por ejemplo la climatización radiante, es rápido de instalar y se adapta fácilmente a todas las situaciones de montaje, óptimo para la rehabilitación de edificios que no cuentan con altura suficiente para otros tipos de sistemas de climatización.⁶

Otro de los sistemas de climatización más utilizado es el ACS para calefacción combinado con un sistema de refrigeración de fan-coils, siempre combinado con un buen aislamiento térmico de la vivienda para consumir el mínimo de energía.^{7,8}

Para optimizar el uso de energía en climatización hay que hacer un análisis de la arquitectura del edificio, así como de las condiciones climatológicas, si, por ejemplo, nos encontramos en una región en la que los veranos son muy calurosos deberemos evitar la radiación solar y beneficiar la ventilación de aire mediante el uso de las ventanas o las puertas.⁹

Un sistema *off-grid* es un sistema de suministro de energía eléctrica que no está conectado a la red principal y que se encuentra en un lugar aislado o remoto. Estos sistemas suelen usar paneles solares, turbinas eólicas o generadores para producir energía eléctrica y almacenarla en baterías para utilizarla posteriormente. Como se ha comentado anteriormente, el cortijo no está conectado a la red eléctrica por lo tanto se trata de un sistema energético *off-grid*, se buscará la autosuficiencia de la finca mediante las energías renovables.

⁵ Leijonhufvud & Broström (2018)

⁶ El instalador (2018)

⁷ Yeguas Bermejo (2016)

⁸ Garrido González (2020)

⁹ Djalilian and Tahbaz (2006)

Andalucía tiene unas características físicas y meteorológicas necesarias para ser una potencia en el sector de las energías renovables. Según los datos de la Junta de Andalucía, se disponen de más de 3000 horas de sol, el viento de levante sopla al año unos 150 días mientras que el poniente de 90 a cien días anuales. A finales de 2020, más del 45,6 % de la potencia eléctrica total de Andalucía provenía de energías renovables. La energía solar térmica se lleva usando en esta comunidad desde hace décadas para calentar agua y para climatización, sobre todo en las zonas rurales en las que se han instalado placas fotovoltaicas de pequeña potencia para suministrar electricidad en zonas que no están conectadas a la red eléctrica.¹⁰

En Málaga se generaron 234,4 MWp de energía fotovoltaica, 643 MW de energía eólica y 17,19 MW de potencia eléctrica de biomasa en 2022.¹¹

Una de las energías más habituales usadas para alimentar los sistemas *off-grid* es la fotovoltaica, idónea para climas como el de Campillos, debido a que la energía fotovoltaica es una fuente fiable de producción de energía eléctrica, además de ser una alternativa económicamente viable cuando no se puede conectar un sistema a la red eléctrica. Uno de los inconvenientes de la energía solar es que no es constante, por lo que se necesita su almacenamiento en baterías para los días de poca radiación solar o para utilizar esta energía en las horas en la que ya no hay luz. En el caso de que no sea suficiente con la energía fotovoltaica para alimentar al sistema se añadirá otro generador para completarlo y entonces estaríamos hablando de un sistema híbrido.¹²

¹⁰ Quiñones-López (2022)

¹¹ Agencia Andaluza de la Energía (2022)

¹² Lara Tronillas (2014)

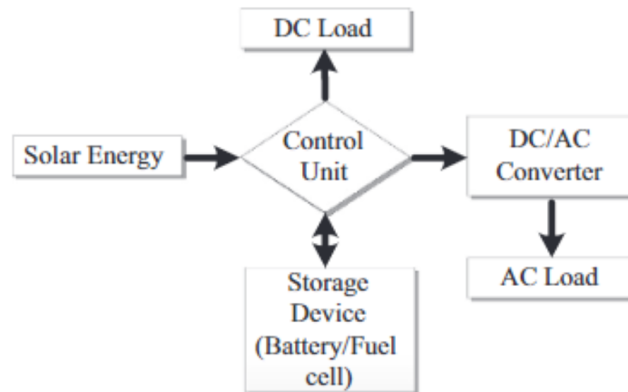


Ilustración 7: Funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico off-grid. Fuente: (2023)

2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Debido al contexto social, económico y ambiental descrito anteriormente, parecen lógicos los beneficios de la utilización de sistemas autónomos alimentados por energías renovables.

La motivación principal de este proyecto es climatizar un cortijo de finales del siglo XIX, que no cuenta con ningún tipo de instalación. Se pretende maximizar el uso de los recursos disponibles en la finca, minimizando el impacto medioambiental.

Además, este proyecto resulta altamente atractivo no solo por su carácter académico, si no también debido a su aplicación en el mundo real y su potencial para ser desarrollado en un futuro. Por ello, pone en manifiesto el compromiso con la innovación y la búsqueda de soluciones eficaces y sostenibles en el campo de la climatización.

3. OBJETIVOS

- Climatización del cortijo: el objetivo principal de este trabajo es diseñar un sistema de climatización eficiente, para un cortijo situado en Campillos, provincia de Málaga, que garantice un confort ambiental adecuado en el espacio, tanto en temporada de

invierno como en temporada de verano, sin causar un impacto negativo en el medioambiente.

- **Análisis del consumo energético:** se identificarán los patrones y cantidades de energía utilizados en el cortijo, tanto el sistema de climatización como cualquier otro aparato que consuma energía eléctrica. Se estudiarán también las áreas donde se puede mejorar la eficiencia energética.
- **Estudiar las instalaciones *off grid*:** El cortijo es una finca rural, que no tiene acceso a la red eléctrica, por lo tanto, se estudiará diseñar un sistema de abastecimiento energético autosuficiente, intentando que esta energía sea cien por cien renovable y en su defecto instalando algún generador de apoyo.
- **Uso de energías renovables:** Como se ha explicado anteriormente, el uso de energías renovables es el ideal para la alimentación del sistema *off grid*, nos permite generar energía de manera sostenible, limpia y respetuosa con el medioambiente y además en el largo plazo la instalación de energías renovables resulta ser mucho más rentable desde un punto de vista económico, debido a que se puede recuperar la inversión realizada y a los elevados precios tanto de gas como de electricidad en la actualidad.
- **Presupuesto y viabilidad económica:** realizar un proyecto cuyo presupuesto quede dentro de unos márgenes económicamente viables, analizando costes y beneficios a corto y a largo plazo.

4. RECURSOS

Para la realización de este proyecto, en primer lugar, se han realizado los planos del edificio con el programa AutoCAD, por lo tanto, se necesita un ordenador con el programa instalado.

Para la obtención de datos meteorológicos se ha usado AEMET y la página web de la junta de Andalucía juntadeandalucia.es.

Para la realización de los cálculos necesarios tanto como para la climatización del edificio, se ha utilizado la hoja de cálculo de cargas de Excel de ATECYR.

Para el diseño del sistema fotovoltaico se ha utilizado el software desarrollado por la Comisión Europea PVGIS-5.

Finalmente, para el análisis económico del proyecto se usará Excel también.

5. METODOLOGÍA

La metodología seguida para el desarrollo de este proyecto ha sido la siguiente:

1. Búsqueda de información sobre proyectos similares y distintas soluciones que existan para nuestro problema en el mercado.
2. Análisis estructural del edificio, para poder calcular correctamente las cargas térmicas de este. También se ha estudiado el terreno y la zona en la que se encuentra ubicado el cortijo para poder así decidir si el uso de energía renovable es el más eficiente.
3. Elaboración de los planos de la planta del edificio, reconociendo así las distintas estancias para realizar el cálculo de cargas térmicas.
4. Estimación de las cargas térmicas del edificio mediante el método *time radiation series* con la hoja de cálculo desarrollada por ATECYR y la Universidad Politécnica de Valencia.
5. Cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria del cortijo.
6. Diseño tanto del sistema de climatización capaz de contrarrestar las cargas térmicas calculadas, así como la demanda de agua caliente sanitaria, y la selección de los equipos necesarios.
7. Cálculo de la demanda eléctrica del edificio, cargas por luminaria, tomas de corriente y aparatos especiales para el posterior diseño del sistema fotovoltaico.
8. Diseño de un sistema fotovoltaico *off-grid*, capaz de suplir la demanda eléctrica del edificio.
9. Cálculo de la memoria económica del proyecto, midiendo el gasto, pero también la rentabilidad y la amortización del proyecto.
10. Análisis de los resultados.

6. CONCLUSIONES DE LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se ha realizado una búsqueda de información para posteriormente encontrar la solución óptima que resuelva el problema del proyecto, cumpliendo además los objetivos fijados.

Para ello se ha establecido la metodología a seguir para desarrollar el proyecto. En los siguientes capítulos se progresará siguiendo la metodología, explicando la elección del edificio y calculando las cargas térmicas necesarias para el desarrollo de climatización.

En este capítulo se hace una introducción de este proyecto despertando el interés del lector por el proyecto y describiendo la motivación del proyecto.

CAPÍTULO 2. ELECCIÓN Y CONTEXTO DEL EDIFICIO

En este capítulo se procederá a explicar la elección del edificio a climatizar, así como las características más relevantes a la hora de realizar proyectos de esta índole. Pondremos especial interés en las características propias de la zona que permiten realizar el proyecto *off-grid*, como pueden ser la temperatura, la radiación solar, la velocidad del viento y la geografía de la zona.

1. ELECCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio escogido para este proyecto es el cortijo “El Puerto” que tiene mi familia en la localidad malagueña de Campillos. Se trata de un cortijo que data del S.XX, construido principalmente para abastecer la actividad agrícola de la zona, en este caso el cultivo de olivo.



Ilustración 8: Fachada Cortijo "El Puerto". Fuente: elaboración propia (2023).

Campillos es un municipio que se encuentra ubicado en la zona occidental de la Comarca de Antequera, a 540 m sobre el nivel del mar, situado en el norte de la provincia de Málaga a 86 km de la capital, cubierto su terreno mayoritariamente por olivares y campos de cereal. Los olivares y campos de cereal florecen gracias a las condiciones propicias del terreno y el clima para el cultivo de estas variedades de plantas.

El municipio cuenta con una población de 8.396 habitantes, cuya economía es principalmente rural, sustentada en la ganadería, donde destacan los porcinos y las aves, la agricultura, dividida en cultivos herbáceos, donde abundan la Cebada y el Haba verde, y los cultivos leñosos, donde predomina el olivar, tanto de regadío como de secano. También es una actividad económica importante, aunque en menor medida comparada con las otras dos, la peletería.¹³

El cortijo se encuentra dentro de un complejo de edificaciones del mismo tipo como se observa en la ilustración 3. La casa data de principios del siglo XX, con la última remodelación realizada alrededor de 1970, esto sumado al éxodo rural de los años 50, en la que mi familia como muchas otras familias españolas se decantaron por migrar a grandes ciudades como Madrid¹⁴, hizo que el cortijo fuera cayendo en desuso, limitándose su uso a estancias vacacionales, hasta que finalmente quedó totalmente en el olvido hace 20 años. Debido a esto, la casa no se encuentra en estado habitable, y es por eso por lo que un proyecto como este es interesante, no solo a nivel teórico sino también a nivel práctico.

En sus inicios, el edificio tenía una distribución propia de los cortijos clásicos, dividido en tres zonas principales, como se puede observar en la siguiente ilustración. La zona 1 en la que se encontraban las viviendas y la zona 2, usada para almacenar, útiles y herramientas necesarias para trabajar el campo, se encuentran rodeando a un patio interior, y por último la zona 3, donde se encontraban las pocilgas y el corral, destinadas a la cría y matanza de estos animales.

¹³ Ayuntamiento de Campillos (2023)

¹⁴ INE (2023)



Ilustración 9: Vista aérea del cortijo 2006. Fuente: Google Earth (2023).

Con el paso del tiempo, y pasando el cortijo de generación en generación, ha sufrido cambios estructurales con respecto al cortijo inicial.



Ilustración 10: Vista aérea del cortijo 2023. Fuente: Google Earth (2023).

Debido a divisiones realizadas de cara a herencias, el cortijo tiene 1043 metros cuadrados aproximadamente, de los cuales 198 corresponden a la vivienda. La vivienda se distribuye de la siguiente manera: en primer lugar, se encuentra el solar marcado con la etiqueta 1, que actualmente no está siendo usado. En la zona etiquetada como 2, nos encontramos con la vivienda a climatizar, dicha vivienda está dividida en dos plantas. En la planta baja nos encontramos con un amplio salón, que cuenta con una gran chimenea que anteriormente se usaba para cocinar, en esta misma planta nos encontramos con dos habitaciones, una pequeña cocina y un baño. En la planta superior, a la cual se accede por unas escaleras que se sitúan en el patio, se encuentran dos habitaciones y un baño.

Siendo fiel a las construcciones de cortijos tradicionales, “El Puerto”, cuenta con muros exteriores macizos de ladrillo, y una estructura de vigas de madera, así como un suelo cerámico para combatir el calor del verano.

Al ser una finca rural, el complejo no se encuentra conectado a la red eléctrica, por lo tanto, es ideal para el diseño de un sistema *off-grid*, con el que se consiga que el cortijo sea autosuficiente.

El clima de Campillos hace esta idea mucho más factible. Al encontrarse en la parte interior de la provincia de Málaga, cuenta con un clima subcontinental de inviernos fríos, y veranos muy calurosos, como se observa en el gráfico 1, las temperaturas mínimas en invierno pueden alcanzar valores negativos y las máximas en verano valores por encima de los 40°C.

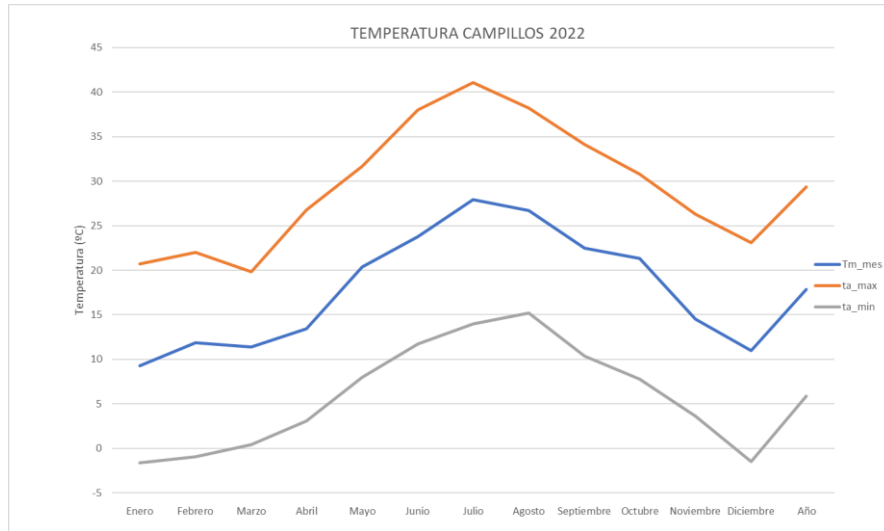


Ilustración 11: Clima en Campillos. Fuente: Elaboración propia (2023) ¹⁵

Una temperatura media de 15°C, y unas 2700 horas de sol al año¹⁶ que hacen que Campillos sea un sitio idóneo para el aprovechamiento de las energías renovables.

Prueba de esto son los diversos proyectos de energía renovable puestos en marcha en la zona, desde el primer parque fotovoltaico de Málaga, inaugurado en Campillos en el 2008, con una capacidad de abastecer alrededor de 3.000 familias¹⁷, y la central eólica de Los Arcos, que tiene Endesa, distribuida entre las localidades de Almargen, Teba y Campillos que produce unos 100 GW hora al año, lo que equivale al consumo anual de 30.000 hogares malagueños aproximadamente.¹⁸

¹⁵ Gráfico de elaboración propia, datos sacados de AEMET estación de Antequera (2022)

¹⁶ Ayuntamiento de Campillos (2023)

¹⁷ Málaga Hoy (2008)

¹⁸ Diario Sur (2019)



Ilustración 12: Parque eólico Los Arcos. Fuente: Endesa (2023).

El cortijo se encuentra en la frontera entre los términos municipales de Teba y Campillos, pero perteneciendo a este último, un municipio español que forma parte de la provincia de Málaga, en la comunidad autónoma de Andalucía. Situado a 6.52 km del municipio, se encuentra rodeado de cultivos de secano, típicos de la comarca como son el olivo y el cereal. En las ilustraciones 5 y 6 se puede observar varios mapas con la localización del edificio.



Ilustración 13: Ubicación del cortijo dentro del término municipal de Campillos. Fuente: Google Earth (2023)



Ilustración 14: Ubicación de Campillos dentro de la Provincia de Málaga. Fuente: Wikipedia (2023)

2. CONCLUSIONES DE LA ELECCIÓN Y CONTEXTO DEL EDIFICIO

El cortijo “El Puerto”, se encuentra en el término municipal de Campillos, en Málaga, y se presenta como un interesante caso de estudio para abordar la climatización del edificio y la integración de energías renovables.

Se pretende con este proyecto convertir el cortijo en un edificio sostenible y autosuficiente, aprovechando las condiciones climatológicas favorables de la zona.

La elección de este edificio pretende también servir de ejemplo y referencia para futuros proyectos en construcciones rurales de la región.

Tras situar el contexto sociocultural de la región, así como las características principales tanto de la vivienda como del entorno, se sienta la base necesaria para diseñar el sistema de climatización del edificio, así como el sistema de autoconsumo energético.

CAPÍTULO 3. NORMATIVA VIGENTE

En este capítulo se describirá la normativa vigente que se debe tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto. También se consultarán las ayudas y subvenciones disponibles para reducir el presupuesto del proyecto

1. NORMATIVA DEL SECTOR

- Código Técnico de la Edificación (CTE)
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
<https://www.boe.es/eli/es/l/1999/11/05/38/con>
- Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC.
https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?id=326&modo=2¬a=0

2. AYUDAS Y SUBVENCIONES

- Programa 6, de los *incentivos para energías renovables en autoconsumo, almacenamiento y para térmicas en sector residencial* de la Junta de Andalucía (2021). Recuperado de: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/entidades-colaboradoras/incentivos-para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-para-termicas-en-sector-residencial>
- Programa 4, de los *incentivos para energías renovables en autoconsumo, almacenamiento y para térmicas en sector residencial* de la Junta de Andalucía (2021). Recuperado de: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/entidades->

[colaboradoras/incentivos-para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-para-termicas-en-sector-residencial](#)

3. CONCLUSIONES SOBRE LA NORMATIVA VIGENTE

La normativa consultada en este capítulo deberá respetarse en el desarrollo del proyecto, durante el diseño de las instalaciones de climatización y fotovoltaica.

Con esto se puede proceder a el cálculo de cargas de la vivienda para posteriormente diseñar los sistemas de climatización, que aseguren las condiciones de confort, y el sistema de autoconsumo de energía fotovoltaica.

CAPÍTULO 4. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

En este capítulo se detallará el cálculo de las cargas térmicas del edificio, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las características estructurales del edificio. Con las cargas térmicas calculadas se podrá proceder a la selección de los equipos de climatización.

1. CONDICIONES EXTERNAS Y DE CONFORT

La climatización del cortijo tiene como fin proporcionar las condiciones de confort climatológicas para los habitantes de la casa. Para ello habrá que diseñar un sistema de climatización que haga frente a las condiciones térmicas exteriores más desfavorables, tanto en invierno como en verano, para así asegurar el confort de los ocupantes del cortijo durante todo el año.

En el RITE¹⁹ (Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios) se describe el rango de temperaturas que seguir como condiciones interiores de diseño óptimas, estas condiciones se presentan en la siguiente figura.

Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura Operativa [°C]	Humedad Relativa [%]
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Tabla 1: Condiciones de confort interiores de diseño. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del RITE (2021)

Es también necesario, para la estimación de las cargas térmicas del edificio, conocer las condiciones exteriores. Se ha consultado la *Guía técnica: Condiciones climáticas exteriores*

¹⁹ IT 1.1.4.1.2, RITE (2021)

de proyecto²⁰ documento donde se encuentran los datos climatológicos de todas las estaciones meteorológicas españolas. Para el proyecto se ha consultado la información procedente de la estación de Málaga (Aeropuerto) por ser la más próxima a la ciudad de Campillos, donde se encuentra el cortijo.

Condiciones Proyecto Málaga (Aeropuerto)		
	Temperatura seca al 1% [°C]	Temperatura húmeda al 1% [°C]
Refrigeración	33.2	23.8
	Temperatura seca al 99% [°C]	Humedad relativa [%]
Calefacción	5.8	81

Tabla 2: Condiciones climáticas exteriores en Málaga (Aeropuerto). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Guía técnica: Condiciones climáticas exteriores de proyecto IDAE (2010)

Las cargas térmicas se han calculado con el archivo “Cargas” de Excel, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia y Atecyr (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración).²¹

Dicho archivo utiliza los datos especificados anteriormente para el cálculo de las cargas térmicas, considerándose las siguientes condiciones exteriores y de confort.

<i>Condiciones de confort y exteriores Verano</i>				
Temperatura seca exterior [°C]	Temperatura húmeda exterior [°C]	Variación de temperatura en el día [°C]	Temperatura mensual media [°C]	Temperatura exterior de cálculo [°C]
33.2	21.8	14.7	25.6	29.29
Temperatura interior de cálculo [°C]	Humedad relativa exterior [%]	Humedad relativa interior [%]	Humedad absoluta exterior [kg/kg as]	Humedad absoluta interior [kg/kg as]
25	47.2	50	0.0129	0.0106

²⁰ IDAE (2010)

²¹ Atecyr (2019)

Tabla 3: Condiciones climáticas exteriores y de confort para refrigeración. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del programa "Cargas" de Atecyr (2023)

Condiciones de confort y exteriores Invierno				
Temperatura seca exterior [°C]	Temperatura húmeda exterior [°C]	Variación de temperatura en el día [°C]	Temperatura mensual media [°C]	Temperatura exterior de cálculo [°C]
5.8	81	3.7	12	8.54
Temperatura interior de cálculo [°C]	Humedad relativa exterior [%]	Humedad relativa interior [%]	Humedad absoluta exterior [kg/kg as]	Humedad absoluta interior [kg/kg as]
21	67.1	40	0.005	0.0062

Tabla 4: Condiciones climáticas exteriores y de confort para calefacción. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del programa "Cargas" de Atecyr (2023)

2. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

2.1 Definición de locales

El primer paso en el cálculo de las cargas térmicas para el diseño del sistema de climatización de la vivienda es la determinación de las distintas zonas que componen el local a climatizar, determinando así su superficie y la ocupación máxima de las mismas acorde con la normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Planta	Estancia	Superficie (m²)	Personas (máx.)	Ocupación (m²/persona)
Baja	Salón-Comedor	30.65	6	5.11
	Habitación 1	13.16	2	6.58
	Cocina	13.79	2	6.90
	Despacho	3.5	1	3.50
	Baño	6.13	1	6.13
Primera	Habitación 2	13.84	2	6.92
	Habitación 3	15.75	2	7.88

	Salón- Zona Común	41.36	6	6.89
--	-------------------	-------	---	------

Tabla 5: Definición de zonas y ocupación. Fuente: Elaboración propia (2023)

La determinación de la ocupación máxima de cada estancia se ha calculado en base al Documento Básico de Seguridad Contra Incendios del CTE, en el que se establece, que, para viviendas residenciales, la ocupación general por planta de vivienda debe ser de 20 m²/persona²², y teniendo en cuenta el número de habitaciones y el número de camas con el que cuenta el cortijo, lo que no impide que de manera ocasional se encuentren más personas de lo establecido en la vivienda.

2.2 Métodos de cálculo de cargas térmicas

Para el cálculo de cargas térmicas se han utilizado el archivo de Excel “Cargas” desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia y la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR y la sesión informativa sobre el cálculo de cargas térmicas, planteamiento y métodos de cálculo impartida por José Manuel Pinazo, Presidente del comité técnico de ATECYR y Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia, introduciendo las características físicas de la vivienda, así como la ocupación y aplicación de las zonas a climatizar y las condiciones de confort y exteriores determinadas anteriormente.

Una carga térmica es todo aquello que modifica la temperatura seca y humedad relativa del aire interior²³. Si se intercambia calor se modifica la temperatura seca y si se intercambia vapor de agua se modifica la humedad específica, lo que conlleva también un cambio en la humedad relativa del ambiente.

²² Sección SI 3, 2, Documento Básico de Seguridad Contra Incendios, CTE (2022).

²³ J.M Pinazo (2020)

En lo relativo a las cargas térmicas se dividen en dos tipos:

- Carga latente: es aquella potencia térmica empleada para convertir la cantidad de agua aportada al recinto desde agua líquida a 0°C a vapor a la temperatura seca del aire.
- Carga sensible: es aquella potencia térmica empleada en aumentar la temperatura seca del aire.²⁴

$$Carga\ total = Carga\ Sensible + Carga\ latente \quad [1]$$

La carga total, es decir la carga térmica, es por tanto la potencia necesaria para satisfacer la demanda máxima, que mantiene el aire del local a las condiciones térmicas de confort descritas anteriormente. Esta demanda máxima se da en el día y a la hora más desfavorables del año, es decir, la potencia máxima necesaria es la que es capaz de proporcionar las condiciones de confort incluso en los días más calurosos y fríos del año.

El cálculo de cargas se realiza sobre las zonas, que han sido determinadas previamente, que se usa para seleccionar sistemas UTA, VRV o sistemas VVT. El conjunto de zonas compone el edificio, en el que se utiliza la suma de todas las cargas en cada zona, para dimensionar así enfriadores de agua o calderas.

En la siguiente tabla se pueden observar los distintos tipos de cargas térmicas que se van a tener en cuenta para el cálculo de la carga total de la vivienda.

Tipo de carga		Sensible	Latente
Exteriores	Transmisión por cerramientos cerrados	SI	NO

²⁴ J.M Pinazo (2020)

	Transmisión por cerramientos semitransparentes	SI	NO
	Ventilación	SI	SI
	Infiltración	SI	SI
Interiores	Ocupantes	SI	SI
	Iluminación	SI	NO
	Máquinas y motores	SI	SI
	Propia instalación	SI	NO

Tabla 6: Tipos de cargas térmicas. Fuente: J.M. Pinazo. Cálculo de cargas térmicas. ATECYR (2020)

Como se ha mencionado anteriormente, para el cálculo de cargas térmicas hay que tener en cuenta dos situaciones, refrigeración y calefacción. Para el cálculo de cargas térmicas en calefacción se supondrá temperatura exterior mínima, que en la vivienda no hay casi ocupantes, ni luces, ni existe radiación solar para encontrarnos así con el caso más desfavorable posible. Lo mismo se supondrá al calcular las cargas de refrigeración, siendo el caso más desfavorable justo lo opuesto, temperatura exterior máxima, que existe radiación solar, la ocupación es máxima y contamos con todas las luces y aparatos electrónicos encendidos.

Existen dos métodos principales para el cálculo de cargas térmicas.

- Método balance: se establecen tres balances, uno de energía en cada superficie de cerramiento:

$$Q_{radiación,\lambda corta} + Q_{radiación,\lambda larga} + Q_{convección} + Q_{conducción} = 0 \quad [2]$$

Siendo, la radiación de onda corta, sol y luces, la cantidad de radiación emitida en longitud de onda larga la energía emitida por personas y otras superficies, la convección el calor transmitido por el movimiento de gases a diferentes temperaturas y la conducción la transferencia de calor que se da al estar dos cuerpos en contacto.

El segundo balance se aplica en el aire. La suma de la cantidad de calor que por convección va de los cerramientos al aire, más la que suministran las fuentes internas al aire, más la de infiltración y ventilación, es la variación de energía que tiene el aire. Si esta variación fuera nula se entiende que la temperatura no se modifica,

cuando esta variación es distinta de cero, nos encontramos con el valor que tiene que contrarrestar el equipo de climatización.

$$Q_{conv,cerramientos} + Q_{conv,cargas\ internas} + Q_{sen,infiltración\ y\ ventilación} = \frac{\Delta E_{int}}{\Delta t} \quad [3]$$

En último lugar, se aplica un balance al vapor.

$$Q_{lat,cargas\ internas} + Q_{lat,infiltración\ y\ ventilación} = C_f \frac{\Delta m_v}{\Delta t} \quad [4]$$

La suma de las cargas latentes de infiltración y ventilación y cargas internas es la variación de la masa de vapor del ambiente, o lo que es lo mismo la variación de humedad específica.

Para el cálculo de este método es necesario un software y un ordenador de gran capacidad, debido al gran número de cerramientos con los que cuenta un edificio. Es por tanto un proceso complejo, que suele ser utilizado en simulación más que en el cálculo de cargas.

- Método *Time Radiation Serie*: este proceso es el utilizado en este proyecto para calcular las cargas térmicas del cortijo. Sigue el proceso de cada aportación energética de forma independiente.

Hay que tener en cuenta dos conceptos:

- Ganancia: potencia térmica que se introduce en el local. A su vez se distingue entre convección, ganancia que pasa a carga instantáneamente y radiación, una parte comunicada al aire instantáneamente y lo demás es absorbido por cerramientos o mobiliario y se comunica al aire posteriormente.
- Carga: potencia térmica que es comunicada al aire.

La hoja de cargas utilizada hace la siguiente división entre el porcentaje de carga que se transmite por radiación y por convección:

	% Radiación	% Convección
Ocupantes	60	40
Equipos con ventilador	10	90

Equipos sin ventilador	30	70
Conducción paredes y suelos	46	54
Conducción techos	60	40
Conducción ventanas factor solar > 0.5	33	67
Conducción ventanas factor solar <= 0.5	46	54
Radiación solar sin elementos sombra interiores	100	0
Radiación solar con elementos sombra interiores; Factor solar > 0.5	33	67
Radiación solar con elementos sombra interiores; Factor solar <= 0.5	46	54
Infiltración	0	100

Tabla 7: Distribución de cargas radiación y convección. Fuente: Cálculo de Cargas Térmicas J.M. Pinazo (2020)

Existe por tanto como hemos explicado anteriormente una relación entre carga y ganancia.

$$Q_{carga}(n) = C G_{(n)} + \sum_{j=0}^{23} (1 - C) G_{(n-j)} RTS(j) \quad [5]$$

El primer término de esta ecuación corresponde al porcentaje convectivo de la ganancia, que como se ha explicado anteriormente corresponde en su totalidad a carga. El segundo término de esta ecuación corresponde al porcentaje de radiación que, al ser absorbido, se va convirtiendo en carga a lo largo del tiempo, es sobre este término donde se aplica el método *time radiation series*. C corresponde a la proporción convectiva de la ganancia.

La conversión de la ganancia radiante a carga depende del local. Hay que tener en cuenta 4 factores:

- Inercia térmica de los cerramientos: se distingue entre cerramientos ligeros, medios y pesados.

- La distribución interna de la radiación: se distingue entre la radiación solar, que incide directamente, y la radiación no solar, que es la que emiten todos los cerramientos.
- Acabado donde incide la radiación: se distingue entre el suelo con alfombras o moquetas y el pavimento.
- Tipo de composición del local: se distingue entre local exterior, que tiene cerramientos y ventanas y local interior, que solo cuenta con cerramientos.

Se aplica cierto coeficiente de desfase ($RTS(j)$), que indica cuanto tiempo tarda en convertirse esa ganancia en carga en función de las características del local mencionadas anteriormente. Se asigna a cada hora del día el porcentaje de ganancia convertido en carga, llegando así a la hora 23 con el 100% de la ganancia transformada en carga.

	Ligero						Medio						Pesado					
	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA
%Acristalado	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90
Hora 0	47	50	53	41	44	44	46	49	52	31	33	36	34	38	42	22	25	28
1	19	18	17	20	19	19	17	17	16	16	16	15	9	9	9	9	9	9
2	11	10	9	12	11	11	9	9	8	11	10	10	6	6	5	6	6	6
3	6	6	6	7	7	7	5	5	4	7	7	7	5	4	4	5	5	5
4	4	4	4	5	5	5	3	3	3	6	5	5	4	4	4	5	5	4
5	3	3	2	4	3	3	2	2	2	4	4	4	4	3	3	4	4	4
6	2	2	2	3	3	3	2	2	2	4	4	3	3	3	3	4	4	4
7	2	1	1	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	4
8	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	3	2	3	3	3	4	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	3	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
13	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2
14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2
15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2
19	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2
20	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	2	1	1	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 8: Coeficientes para radiación no solar, cerramientos exteriores. Fuente: Cálculo de cargas térmicas, J.M. Pinazo (2020)

	Ligero						Medio						Pesado					
	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA	CA	CA	CA	SA	SA	SA
%Acrystalado	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90	10	50	90
Hora 0	53	54	55	44	45	46	52	53	55	28	29	29	46	48	50	27	27	28
1	17	17	17	19	19	19	16	16	15	15	15	15	11	12	12	12	12	12
2	9	9	9	11	11	11	8	8	8	10	10	10	6	6	6	7	7	7
3	6	5	5	7	7	7	5	4	4	7	7	7	4	4	4	5	5	5
4	4	4	3	5	5	5	3	3	3	6	6	6	3	3	3	4	4	4
5	3	2	2	4	3	3	2	2	2	5	5	5	3	2	2	4	4	4
6	2	2	2	3	3	2	2	1	1	4	4	4	2	2	2	3	3	3
7	1	1	1	2	2	2	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	3
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2
13	0	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
14	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
15	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	2	2	2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 9: Coeficientes para radiación solar. Fuente: Cálculo de cargas térmicas, J.M. Pinazo (2020)

Resumiendo, partiendo de unas condiciones exteriores de radiación directa y difusa y temperatura, se calcula el factor ganancia solar, transmitida por los cristales y el absorbido por estos, se calcula también lo que se denomina “temperatura sol_aire”, que calcula la temperatura estimada exterior de los cerramientos opacos.

Con estos datos se calculan las ganancias solar transmitidas y absorbidas, así como los factores de respuesta periódicos de los cerramientos opacos y la ganancia de conducción de las ventanas.

También se tendrán en cuenta las ganancias internas, que corresponden a equipos, luces y ocupantes.

Una vez obtenidas todas las ganancias se hace una distinción entre el porcentaje convectivo y el radiante. La parte convectiva se convierte directamente en carga al que se le suman las infiltraciones, obteniendo así la cantidad de energía que se suministra al aire por convección. A la parte radiante se le aplica el método *time radiation series*, para convertir la ganancia en carga.

2.3 Cálculo de cargas térmicas

El objetivo de la climatización de la vivienda es contrarrestar las cargas térmicas para así asegurarse de encontrarse siempre en las condiciones de confort determinadas con anterioridad.

Hay 3 tipos de cargas que afectan: cargas de transmisión, cargas de ventilación y las cargas internas.

Para el cálculo de estas cargas hay que tener en cuenta tanto la orientación de los muros, como la superficie de estos, así como la superficie de los cerramientos que corresponde a ventanas.

Planta	Estancia / Zona	Superficie de la zona (m ²)	Superficie pared NO (m ²)	Superficie pared NE (m ²)	Superficie pared SO (m ²)	Superficie pared SE (m ²)	Superficie pared con otro local (m ²)	Superficie techo (m ²)	Superficie suelo (m ²)
Baja	Salón-Comedor	30.65	17.85	12.06	N/A	N/A	10.41	N/A	30.65
	Habitación 1	13.16	N/A	N/A	N/A	11.28	10.50	N/A	13.16
	Cocina	13.79	N/A	10.50	N/A	11.82	N/A	N/A	13.79
	Despacho	3.5	4.89	6.45	N/A	N/A	N/A	3.50	3.50
	Baño	6.13	7.62	N/A	N/A	N/A	9.24	6.13	6.13
Primera	Habitación 2	13.84	11.52	N/A	N/A	N/A	10.86	13.84	N/A
	Habitación 3	15.75	N/A	N/A	N/A	13.35	10.50	15.75	N/A
	Salón-Zona Común	41.36	21.93	21.21	N/A	N/A	21.84	41.36	N/A

Tabla 10: Superficies y orientaciones de los muros exteriores de cada zona. Fuente: elaboración propia

(2023)

Planta	Estancia	Superficie (m ²)	Ventana 1 (m ²)	Ventana 2 (m ²)	Total, Superficie Ventanas
Baja	Salón-Comedor	30.65	1.87	1.232	3.10
	Habitación 1	13.16	1.65	N/A	1.65
	Cocina	13.79	1.65	N/A	1.65
	Despacho	3.5	0.4125	N/A	0.41
	Baño	6.13	0.825	N/A	0.83
Primera	Habitación 2	13.84	0.825	N/A	0.83
	Habitación 3	15.75	0.825	N/A	0.83
	Salón- Zona Común	41.36	0.825	0.825	1.65

Tabla 11: Superficie de ventana en cada zona. Fuente: Elaboración propia (2023)

Con los datos aportados anteriormente sobre las condiciones exteriores y la estación climatológica de la zona en la que se encuentra el cortijo, el programa establece para refrigeración el mes más desfavorable julio, en el día 21 a las 15 horas solares. Para calefacción se establece el mes de enero, en el día 21 a las 6 horas solares.

Se considerará también un tipo de atmósfera clara, así como la reflexión de alrededores del tipo césped, al encontrarse el cortijo en un medio rural. Consideraremos al ser una casa de vacaciones o segunda residencia que la ocupación de esta es constante. Ningún suelo tiene alfombras y el tipo de construcción de los muros es “medio”.

2.3.1 Cargas de transmisión

Las cargas térmicas de transmisión son el calor por unidad de tiempo que atraviesa los cerramientos del local²⁵. Este calor por lo tanto entra en el edificio en verano, necesitando un sistema de refrigeración para combatirlo y sale del edificio en invierno, necesitando un sistema de calefacción. Por lo tanto, las cargas son diferentes en invierno y en verano. Hay que tener en cuenta por lo tanto las características de los cerramientos del local.

²⁵ Jutglar, Miranda y Villarubia (2011).

Las características de los cerramientos opacos son las siguientes: teniendo en cuenta el código de edificación de construcciones antiguas, se estiman siguiendo la normativa los siguientes coeficientes de transmisión U.

		U [W/m ² K]	Coef. Absorción	Color
Opacos exteriores	Muros	2.65	0.6	Blanco
	Techos	0.5	0.8	N/A
Opacos otros	Suelo terreno	0.85	N/A	N/A
	Otro local	1.5	N/A	N/A

Tabla 12: Característica de cerramientos opacos. Fuente: Elaboración propia a partir del CTE (2018)

Las características de las ventanas al ser de vidrio simple con marco de aluminio y persiana plástica opaca blanca son las siguientes:

Características ventanas	
g (factor solar del vidrio)	0.85
U cristal [W/m ² K]	5
U marco [W/m ² K]	5
Factor de superficie ocupada por el marco [%]	0.1
Tipo de persiana	Persiana plástica opaca blanca

Tabla 13: Características de las ventanas. Fuente: elaboración propia. Datos CTE (2018)

Podemos finalmente calcular las cargas térmicas de transmisión en los cerramientos del edificio:

Planta	Zona	Tipo de carga	Cerramientos opacos ext. Q[W]	Cerramientos opacos otros Q[W]	Ventanas 1 Q[W]	Ventanas 2 Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón-Comedor	Q sensible	-974	-196	-88	0	-1258
		Q latente	0	0	0	0	0

	Habitación 1	Q sensible	64	-160	-45	0	-141	
		Q latente	0	0	0	0	0	
	Cocina	Q sensible	-313	-66	-36	0	-415	
		Q latente	0	0	0	0	0	
	Despacho	Q sensible	-423	-32	-12	0	-467	
		Q latente	0	0	0	0	0	
	Baño	Q sensible	-287	-124	-23	0	-434	
		Q latente	0	0	0	0	0	
	Primera	Habitación 2	Q sensible	-388	-97	-23	0	-508
			Q latente	0	0	0	0	0
		Habitación 3	Q sensible	-20	-94	-22	0	-136
			Q latente	0	0	0	0	0
Salón- Zona Común		Q sensible	-1810	-196	-46	0	-2052	
		Q latente	0	0	0	0	0	
							-5411	

Tabla 14: Cargas de transmisión Calefacción en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023)

Planta	Zona	Tipo de carga	Cerramientos opacos ext. Q[W]	Cerramientos opacos otros Q[W]	Ventanas 1 Q[W]	Ventanas 2 Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	-131	27	39	0	-65
		Q latente	0	0	0	0	0
	Habitación 1	Q sensible	518	43	20	0	581
		Q latente	0	0	0	0	0
	Cocina	Q sensible	553	23	13	0	589
		Q latente	0	0	0	0	0
	Despacho	Q sensible	-35	23	8	0	-4
		Q latente	0	0	0	0	0
	Baño	Q sensible	-34	42	11	0	19
		Q latente	0	0	0	0	0
Primera	Habitación 2	Q sensible	-76	21	10	0	-45
		Q latente	0	0	0	0	0
	Habitación 3	Q sensible	708	20	10	0	738
		Q latente	0	0	0	0	0
	Salón- Zona Común	Q sensible	-93	41	20	0	-32
		Q latente	0	0	0	0	0

Tabla 15: Cargas de transmisión Refrigeración en Watos. Fuente: Elaboración propia (2023)

2.3.2 Cargas de ventilación e infiltración

Las cargas térmicas de ventilación e infiltración son aquellas que recogen las cargas por la introducción deliberada del aire exterior en la vivienda, ventilación, y la del aire que se introduce en la vivienda involuntariamente mediante huecos o ranuras que puedan existir en la estructura.²⁶

El edificio no cuenta con ninguna unidad de tratamiento de aire primaria, por lo tanto, la ventilación es totalmente exterior y se realiza al abrir voluntariamente las ventanas de la vivienda.

Características de infiltración:

Temperatura seca exterior verano [°C]	Temperatura seca exterior invierno [°C]	Humedad específica exterior invierno [Kg/k gas]	Humedad específica exterior verano [Kg/k gas]
29.29	8.54	0.005	0.0129

Tabla 16: Características exteriores infiltración. Fuente: Elaboración propia (2023).

Se puede entonces calcular las cargas térmicas debidas a la ventilación y la infiltración:

Planta	Zona	Tipo de carga	Ventilación Q[W]	Infiltración Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	0	-237	-237
		Q latente	0	-65	-65
	Habitación 1	Q sensible	0	-99	-99
		Q latente	0	-27	-27
	Cocina	Q sensible	0	-107	-107
		Q latente	0	-29	-29
	Despacho	Q sensible	0	-31	-31
		Q latente	0	-8	-8
	Baño	Q sensible	0	-46	-46
		Q latente	0	-13	-13

²⁶ Jutglar, Miranda y Villarubia (2011)

Primera	Habitación 2	Q sensible	0	-107	-107
		Q latente	0	-29	-29
	Habitación 3	Q sensible	0	-122	-122
		Q latente	0	-34	-34
	Salón- Zona Común	Q sensible	0	-316	-316
		Q latente	0	-87	-87
					-1357

Tabla 17: Cargas por infiltración Calefacción en W. Fuente: Elaboración propia (2023).

Planta	Zona	Tipo de carga	Ventilación Q[W]	Infiltración Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	0	83	83
		Q latente	0	110	110
	Habitación 1	Q sensible	0	35	35
		Q latente	0	46	46
	Cocina	Q sensible	0	37	37
		Q latente	0	50	50
	Despacho	Q sensible	0	11	11
		Q latente	0	14	14
	Baño	Q sensible	0	16	16
		Q latente	0	21	21
Primera	Habitación 2	Q sensible	0	37	37
		Q latente	0	50	50
	Habitación 3	Q sensible	0	43	43
		Q latente	0	57	57
	Salón- Zona Común	Q sensible	0	110	110
		Q latente	0	147	147
					867

Tabla 18: Cargas por infiltración Refrigeración en W. Fuente: Elaboración propia (2023).

2.3.3 Cargas internas

Las cargas térmicas internas están formadas por las cargas que generan los ocupantes de la vivienda, las luces y los aparatos encendidos. Para el cálculo de las cargas térmicas internas hay que tener en cuenta una serie de parámetros:

Fracción radiante (%)	El % en uso para calefacción	W/m ²	Potencia máx. sensible [W]
-----------------------	------------------------------	------------------	----------------------------

Luces	0.8	10	5	20
Equipos	0.1	10	3	12
	Actividad	Sexo	% calefacción	
Ocupantes	Residencial	Mixto	1	

Tabla 19: Características para el cálculo de cargas internas. Fuente: Elaboración propia (2023).

Hay que tener en cuenta que se trata de bombillas LED, y de que se hace una estimación con la carga de unos equipos que se encontrarían normalmente en una vivienda como puede ser un ordenador, un televisor, un frigorífico, un horno, un secador de pelo o una cafetera, entre otros.

También se tendrá en cuenta el nivel de ocupación de cada estancia, así como los parámetros indicados a continuación.

Para el periodo de invierno en el que se necesite calefacción, como se explicó anteriormente se considerará el caso más desfavorable en el que la ocupación es nula.

Planta	Zona	m ² /ocupante	Calor sensible cedido por persona Q[W]	Calor latente cedido por persona Q[W]	Potencia máx. sensible [W]	Potencia máx. latente [W]	N.º de personas
Baja	Salón-Comedor	5.11	77	26	5	2	0
	Habitación 1	6.58	77	26	2	1	0
	Cocina	6.9	77	26	2	1	0
	Despacho	3.5	94	30	1	0	0
	Baño	6	94	30	1	0	0
Primera	Habitación 2	6.92	77	26	2	1	0
	Habitación 3	7.88	77	26	2	1	0
	Salón-Zona Común	6.92	94	30	6	2	0

Tabla 20: Especificaciones cargas internas de ocupantes calefacción. Fuente: Elaboración propia partiendo de los datos de "Clima v2" ATECYR (2023).

Al contrario, para refrigeración se usará la ocupación máxima de cada zona para el cálculo de cargas.

Planta	Zona	m ² /ocupante	Calor sensible cedido por persona Q[W]	Calor latente cedido por persona Q[W]	Potencia máx. sensible [W]	Potencia máx. latente [W]	N.º de personas
Baja	Salón-Comedor	5.11	71	31	431	188	6
	Habitación 1	6.58	71	31	140	61	2
	Cocina	6.9	71	31	144	63	2
	Despacho	3.5	78	46	89	53	1
	Baño	6	78	46	78	46	1
Primera	Habitación 2	6.92	78	46	158	93	2
	Habitación 3	7.88	78	46	158	93	2
	Salón-Zona Común	6.92	78	46	473	279	6

Tabla 21: Especificaciones cargas internas de ocupantes refrigeración. Fuente: Elaboración propia partiendo de los datos de "Clima v2" ATECYR (2023)

Finalmente, las cargas térmicas internas debidas a luces, ocupantes y equipos serán:

Para calefacción:

Planta	Zona	Tipo de carga	Luces Q[W]	Equipos Q[W]	Ocupantes Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	6	5	2	13
		Q latente	0	0	1	1
	Habitación 1	Q sensible	2	2	1	5
		Q latente	0	0	0	0
	Cocina	Q sensible	3	2	1	6
		Q latente	0	0	0	0
Despacho	Q sensible	1	1	0	2	

Primera	Baño	Q latente	0	0	0	0
		Q sensible	1	1	0	2
		Q latente	0	0	0	0
	Habitación 2	Q sensible	3	2	1	6
		Q latente	0	0	0	0
	Habitación 3	Q sensible	3	2	1	6
Q latente		0	0	0	0	
Salón- Zona Común	Q sensible	8	6	3	17	
	Q latente	0	0	1	1	
						59

Tabla 22: Cargas térmicas internas Calefacción en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).

Para refrigeración:

Planta	Zona	Tipo de carga	Luces Q[W]	Equipos Q[W]	Ocupantes Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	58	46	195	299
		Q latente	0	0	94	94
	Habitación 1	Q sensible	24	19	64	107
		Q latente	0	0	31	31
	Cocina	Q sensible	26	21	65	112
		Q latente	0	0	31	31
	Despacho	Q sensible	7	6	40	53
		Q latente	0	0	26	26
	Baño	Q sensible	11	9	35	55
		Q latente	0	0	23	23
Primera	Habitación 2	Q sensible	26	21	72	119
		Q latente	0	0	47	47
	Habitación 3	Q sensible	30	24	72	126
		Q latente	0	0	47	47
	Salón- Zona Común	Q sensible	78	62	215	355
		Q latente	0	0	140	140
						1665

Tabla 23: Cargas térmicas internas Refrigeración en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).

2.3.4 Cargas de mayoración

Las cargas de mayoración son aquellas cargas adicionales que se calculan sobre las cargas térmicas para tener en cuenta cualquier factor que haya podido ser no contemplado durante el estudio de climatización del edificio, como podría ser fluctuaciones en la ocupación, condiciones exteriores anómalas, cambio en los equipos eléctricos... cualquier cambio que pueda aumentar la demanda de energía del sistema.

Por lo tanto, la mayoración se utiliza como un margen de seguridad. Hay que tener en cuenta que se ha establecido un 10% de la carga sensible y un 5% de la carga latente para mayoración.

Las cargas de mayoración para calefacción serán entonces:

Planta	Zona	Tipo de carga	Mayoración Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	-148	-148
		Q latente	-3	-3
	Habitación 1	Q sensible	-23	-23
		Q latente	-1	-1
	Cocina	Q sensible	-52	-52
		Q latente	-1	-1
	Despacho	Q sensible	-31	-31
		Q latente	-8	-8
	Baño	Q sensible	-48	-48
		Q latente	-1	-1
Primera	Habitación 2	Q sensible	-61	-61
		Q latente	-1	-1
	Habitación 3	Q sensible	-25	-25
		Q latente	-2	-2
	Salón- Zona Común	Q sensible	-235	-235
		Q latente	-4	-4
				-644

Tabla 24: Cargas térmicas mayoración Calefacción en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).

Las cargas de mayoración para refrigeración serán entonces:

Planta	Zona	Tipo de carga	Mayoración Q[W]	Total, Q[W]
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	32	32

Primera	Habitación 1	Q latente	10	10	
		Q sensible	72	72	
		Q latente	4	4	
	Cocina	Q sensible	74	74	
		Q latente	4	4	
	Despacho	Q sensible	6	6	
		Q latente	2	2	
	Baño	Q sensible	9	9	
		Q latente	2	2	
	Primera	Habitación 2	Q sensible	11	11
			Q latente	5	5
		Habitación 3	Q sensible	91	91
			Q latente	5	5
		Salón- Zona Común	Q sensible	43	43
Q latente			14	14	
				384	

Tabla 25: Cargas térmicas mayoración Refrigeración en Watios. Fuente: Elaboración propia (2023).

2.3.5 Cargas totales

Una vez calculadas todas las cargas térmicas, podemos resumir todo lo anterior en el total de cargas latente y sensible de cada estancia para obtener la cantidad de energía final que se necesitará en el sistema de climatización de este proyecto.

Planta	Zona	Tipo de carga	Calefacción (W)	Refrigeración (W)	Total (W)
Baja	Salón- Comedor	Q sensible	-1630	348	1978
		Q latente	-68	214	282
	Habitación 1	Q sensible	-258	795	1053
		Q latente	-28	81	109
	Cocina	Q sensible	-569	813	1382
		Q latente	-31	85	116
	Despacho	Q sensible	-545	66	611
		Q latente	-9	43	52
	Baño	Q sensible	-526	99	625
		Q latente	-13	47	60
Primera	Habitación 2	Q sensible	-672	122	794
		Q latente	-31	101	132
		Q sensible	-278	996	1274

	Habitación 3	Q latente	-35	109	144
	Salón- Zona Común	Q sensible	-2585	477	3062
		Q latente	-90	301	391
					12065

Tabla 26: Cargas térmicas totales por estancia para climatización y refrigeración. Fuente: Elaboración propia (2023).

Se necesitan por tanto unos equipos capaces de hacer frente a 12.065 KW de cargas térmicas.

3. CONCLUSIONES

En este capítulo se han calculado las cargas térmicas necesarias para garantizar las condiciones de confort determinadas al inicio de este.

Las cargas térmicas han sido calculadas con la hoja de cálculos “Cargas v2” desarrollada por ATECYR junto a la Universidad Politécnica de Valencia. Dicha hoja, utiliza el método *time radiation series* para calcular las cargas térmicas en el edificio, teniendo así en cuenta aquel calor que es absorbido y desprendido al aire desde los cerramientos con un decalaje a lo largo del tiempo.

Se obtiene con este cálculo una carga térmica de 7.368 KW a contrarrestar en invierno con el sistema de calefacción y una carga térmica de 4.697 KW a contrarrestar en verano con un sistema de refrigeración.

Total, edificio	Q Latente (W)	Q Sensible (W)	Total (W)
Calefacción	-305	-7063	-7368
Refrigeración	981	3716	4697

Tabla 27: Cargas totales de refrigeración y Calefacción. Fuente: Elaboración propia (2023).

Este cálculo sirve como base para el siguiente capítulo en el que se elegirán los equipos necesarios para el diseño del sistema de climatización, teniendo en cuenta su eficiencia y sostenibilidad, ya que el proyecto no solo se centra en el diseño del sistema climático, sino

también en intentar que este tenga las emisiones más bajas posibles y sea capaz de cortijo de abastecerse eléctricamente mediante el autoconsumo, usando energías renovables.

CAPÍTULO 5. DEMANDA ENERGÉTICA DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

En este capítulo se calculará la demanda de ACS de la vivienda, para así poder determinar la cantidad de energía necesaria para calentar el agua, y poder dimensionar de esta manera la bomba de calor aerotérmica necesaria para satisfacer las necesidades tanto de climatización como de ACS.

1. CAUDAL TOTAL DE LA VIVIENDA

En primer lugar, calcularemos el caudal total de la vivienda, en base a lo expuesto en el Documento Básico de Salubridad HS 4 Suministro de agua.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mín. agua fría [dm³/s]	Caudal instantáneo mín. ACS [dm³/s]
Lavabo	0.1	0.065
Bañera de 1,40m o más	0.3	0.2
Bidé	0.1	0.065
Inodoro con cisterna	0.04	-
Fregadero doméstico	0.2	0.1
Lavavajillas doméstico	0.15	0.1
Lavadora doméstica	0.2	0.15

Tabla 28: Caudales mínimos de aparatos sanitarios. Fuente: CTE (2022)

Para el cálculo total de caudal, tendremos por lo tanto que identificar el número de aparatos que hay en la vivienda.

Tipo de aparato	Nº de aparatos
Lavabo	1
Bañera de 1,40m o más	1
Bidé	1
Inodoro con cisterna	1
Fregadero doméstico	1
Lavavajillas doméstico	1
Lavadora doméstica	1

Tabla 29: Número de aparatos en la vivienda. Fuente: Elaboración propia (2023).

Para el cálculo total del caudal sumaremos todos los caudales de todos los aparatos del edificio. Quedando así un caudal total de ACS de 0.68 l/s.

2. CAUDAL INSTANTÁNEO DE LA VIVIENDA

Para el cálculo de la carga térmica que necesita el agua para calentarse, hay que obtener los caudales instantáneos del edificio, para encontrar el caso más desfavorable en el que se esté usando agua caliente simultáneamente en toda la vivienda. Se obtienen con la siguiente expresión:

$$Q_c = Q_T \cdot t \cdot T_{red} \quad [1]$$

$Q_c \rightarrow$ caudal simultáneo [l/s].

$Q_T \rightarrow$ caudal total [l/s].

$t \rightarrow$ tiempo de uso estimado en el día en minutos.

$T_{ACS} \rightarrow$ Temperatura de la red ACS.

Para la aplicación de la ecuación se identifican los parámetros necesarios.

Qt [l/s]	t [min]	TACS [°C]
0.68	depende del aparato	60

Tabla 30: Parámetros necesarios para el cálculo del caudal instantáneo. Fuente: Elaboración propia (2023).

Aplicando la ecuación 1 se obtienen entonces:

Tipo de aparato	Nº de aparatos	Caudal instantáneo mín. ACS [dm ³ /s]	t [min]	Tred [°C]	Qc [l/s]
Lavabo	1	0.065	5	60	19.5
Bañera de 1,40m o más	1	0.2	10	60	120
Bidé	1	0.065	5	60	19.5
Inodoro con cisterna	1	-	-	60	-
Fregadero doméstico	1	0.1	10	60	60
Lavavajillas doméstico	1	0.1	30	60	180
Lavadora doméstica	1	0.15	15	60	135
					534

Tabla 31: Caudales simultáneos. Fuente: Elaboración propia (2023).

3. DEMANDA DE ENERGÍA.

La demanda de energía para ACS se calcula como la energía que se necesita para calentar el caudal simultáneo desde la temperatura del agua de la red, a la temperatura fijada en el sistema de ACS.

$$DE_{ACS} = Q_{ACS} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ACS} - T_{red}) \cdot t \quad [2]$$

Siendo:

$DE_{ACS} \rightarrow$ Demanda de Energía [W].

$Q_{ACS} \rightarrow$ caudal total diario de ACS [l/d].

$\rho \rightarrow$ densidad del agua.

$c_p \rightarrow$ calor específico del agua.

$T_{ACS} \rightarrow$ Temperatura del ACS

$T_{red} \rightarrow$ Temperatura de la red de suministro, oscila cada mes.

$t \rightarrow$ número de días del mes que corresponde.

Se recomienda considerar un 5% de la demanda total de la energía de ACS como pérdidas.

Por lo que para el cálculo total de la demanda quedaría.

Q_{ACS} [l/s]	Mes	Días en el mes	ρ	C_p [J/kg K]	T_{ACS} [°C] ²⁷	T_{red} [°C] ²⁸	Demanda [J/mes]	Demanda [W]
534	Enero	31	1	4190	60	12	3.329E+09	1284.5
534	Febrero	28	1	4190	60	12	3.007E+09	1160.2
534	Marzo	31	1	4190	60	23	2.566E+09	990.1
534	Abril	30	1	4190	60	14	3.088E+09	1191.2
534	Mayo	31	1	4190	60	16	3.052E+09	1177.4
534	Junio	30	1	4190	60	18	2.819E+09	1087.7
534	Julio	31	1	4190	60	20	2.774E+09	1070.4
534	Agosto	31	1	4190	60	20	2.774E+09	1070.4
534	Septiembre	30	1	4190	60	19	2.752E+09	1061.8
534	Octubre	31	1	4190	60	16	3.052E+09	1177.4
534	Noviembre	30	1	4190	60	14	3.088E+09	1191.2
534	Diciembre	31	1	4190	60	12	3.329E+09	1284.5

²⁷ CTE (2020)

²⁸ Suelo Solar (2016)

Tabla 32: Demanda de ACS mensual. Fuente: Elaboración Propia (2023)

4. CONCLUSIÓN

Se ha obtenido finalmente que para mantener el ACS de un año entero se necesitarían 14.5 KW, como se ha comentado anteriormente se trata de una segunda vivienda por lo que no se necesita el 100% de la demanda calculada ya que no se va a usar todo el año.

Se estima que solo se necesita un 60% de la demanda final para ACS durante el tiempo en el que se esté en la vivienda.

Demanda Total [W]	Pérdidas [W]	Demanda Final [W]	% Utilizado	Demanda Requerida
13746.7	687.337	14434.077	60%	8660.446

Tabla 33: Demanda total de energía de ACS. Fuente: elaboración propia (2023)

Con este cálculo podemos proceder finalmente a la selección de la bomba de calor aerotérmica necesaria para satisfacer las necesidades tanto de climatización como de ACS.

CAPÍTULO 6. ELECCIÓN DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

En este capítulo se detallará y argumentará la elección de los equipos de climatización necesarios para este proyecto.

Siendo la aerotermia la fuente de energía seleccionada, debido a su alto rendimiento y su gran sostenibilidad, que combinado con fan-coils harán posible la climatización del cortijo.

1. AEROTERMIA

La energía aerotérmica es la energía almacenada en forma de calor en el aire ambiente²⁹. Los sistemas de aerotermia son bombas de calor que extraen la energía ambiental contenida en el aire mediante un ciclo termodinámico para aportar calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente todo el año.³⁰

Las bombas de calor eléctricas son muy eficientes y son consideradas energía renovable bajo ciertas condiciones como se indica en el artículo dos de La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo.

Una bomba de calor aerotérmica extrae el calor del aire exterior y lo introduce en el interior en el caso de calefacción, para la refrigeración se revierte el sistema, extrayendo el aire caliente del interior y expulsándolo al exterior. Este proceso es posible gracias al uso de refrigerantes. El refrigerante más usado en este tipo de bombas es el R32, que alcanza temperaturas de hasta 70°C.

²⁹ IDEA (2010)

³⁰ Iberdrola (2023)

El primer paso en el proceso termodinámico que sigue la bomba de calor aerotérmica es la compresión. El compresor entra en funcionamiento gracias a energía eléctrica comprimiendo el refrigerante, lo que hace que este aumente su temperatura y su presión, aumentando así la cantidad de energía que puede intercambiar con el aire.

En segundo lugar, entra en acción el condensador, situado en la unidad interior, en el que se intercambia calor entre el foco frío y el foco caliente, por lo que el calor del refrigerante es cedido al circuito secundario instalado, y el refrigerante entonces se enfría bajando su temperatura y pasando de estado gaseoso a estado líquido.

Después el refrigerante se dirige hacia la válvula de expansión, en la que el fluido sufre un proceso de expansión, en el que se reduce la temperatura del refrigerante volviendo a su estado inicial y por tanto se genera una gran pérdida de carga, que cede al condensador.

Finalmente, el refrigerante se dirige a la unidad exterior, llamada evaporador, en el que se produce un cambio de fase, el refrigerante vuelve a un estado gaseoso. El aire del exterior cede su calor al refrigerante, al estar el refrigerante a una temperatura aproximada de -15°C , el aire exterior siempre va a estar a una temperatura mayor, por lo tanto, siempre podrá cederle calor.

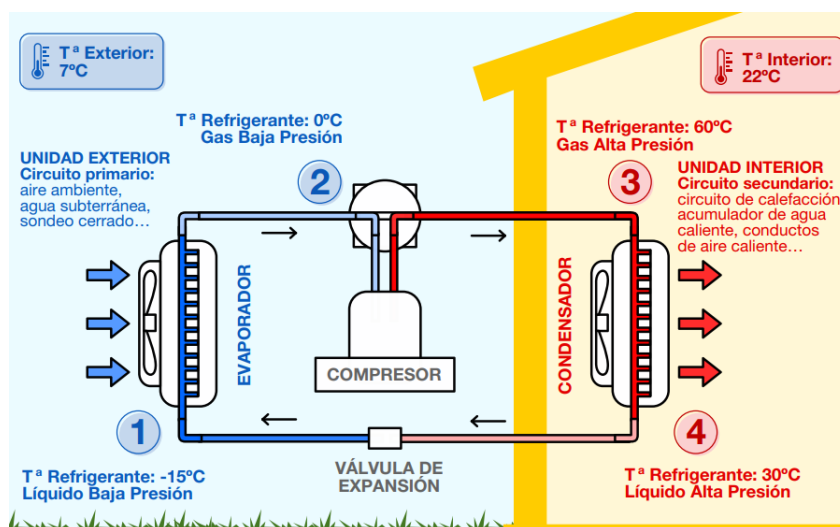


Ilustración 15: Esquema de funcionamiento de una instalación aerotérmica. Fuente: Iberdrola (2023)

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema puede revertirse para funcionar como refrigeración en vez de funcionar como calefacción.

El COP³¹ de estas calderas suele rondar el cuatro, lo que significa que por un kilo watio de energía eléctrica aportado se generan 4 kW de potencia calorífica, al contrario que el COP de las calderas tradicionales que suele ser de 0.9.

Se suelen utilizar como circuitos secundarios en este proceso, el suelo radiante, los fan-coils o los radiadores a baja temperatura.

En este proyecto vamos a analizar los dos primeros para finalmente elegir el más conveniente para el uso que queremos darle a la vivienda.

En primer lugar, cabe resaltar que se trata de una segunda vivienda, por lo tanto, su ocupación no es constante durante todo el año, si no que estaría ocupada en periodos de vacaciones como puede ser verano, durante los meses de julio y agosto, semana santa, o navidades, durante los meses de diciembre y enero. Esto es un factor para tener en cuenta ya que el sistema de calefacción no estaría en funcionamiento todo el año, solo durante un máximo de 80 días de los cuales primaría la refrigeración ante la calefacción.

Hay que destacar también la existencia de una gran chimenea en el salón principal, que nos permitiría calentar gran parte de la planta baja.

La calefacción por suelo radiante consiste básicamente en la emisión de calor por parte del agua que circula por tubos embebidos en la losa de hormigón que constituye el suelo³². En los meses de invierno, existe una gran superficie que emite calor, y por tanto permite calefactar la vivienda. Por lo tanto, el suelo radiante es una manera muy eficiente de calefacción en invierno, que funciona muy bien combinado con la aerotermia ya que se trata

³¹ Coeficiente de rendimiento.

³² Arnabat, I. (2020)

de un sistema pensado para baja temperatura y que cuenta con mucha superficie de transmisión de calor.

Sin embargo, el suelo refrescante no es igual de efectivo que el suelo radiante, este tipo de sistema utilizado para refrigeración va a proporcionar una sensación de frescor, pero no funciona tan bien como un sistema de refrigeración por fan-coils, ya que el aire caliente tiende a subir al tener menos densidad.

Se recomienda entonces, hacer una instalación mixta en la que se tenga el suelo radiante como sistema calefactor y unos fan-coils por conductos para refrigeración. El problema de esto es que es mucho más costoso, y si se combina con que se trata de una segunda vivienda, que se trata de una reforma y que el cortijo va a ser más utilizado en los meses de verano que en invierno. Todo esto, sumado a la gran altura de los techos de la vivienda, hacen que finalmente se escoja un sistema combinado de aerotermia y fan-coils de conductos de techo.

2. SISTEMA COMBINADO DE AEROTERMIA Y FAN-COILS DE CONDUCTOS.

2.1 Definición del sistema

Como se ha explicado anteriormente se ha elegido como sistema de climatización una combinación de una bomba de calor aerotérmica y un sistema de fan-coils por conductos.

En la siguiente tabla encontramos las cargas que tiene que satisfacer, que hemos calculado en los capítulos anteriores, la de climatización mediante el método *time radiation series* y la de ACS, mediante el cálculo de la demanda de agua caliente sanitaria de la casa.

	Total, demanda (W)
ACS	8660.45
Climatización	6829

Tabla 34: Total demanda a satisfacer por la bomba de calor. Fuente: Elaboración propia (2023).

Necesitaremos, por tanto, una bomba de calor aerotérmica capaz de suministrar 15,5 KW de potencia calorífica.

2.3 Elección de bomba de calor aerotérmica

Vamos por tanto a comparar las distintas bombas de calor aerotérmicas que hay en el mercado.

	Potencia total calefacción [kW]	Potencia total refrigeración [kW]	Potencia total ACS [kW]
Vivienda	4.551	6.829	8.66

Tabla 35: Potencias de calefacción y refrigeración. Fuente: Elaboración propia (2023).

Se necesitará por tanto una bomba que sea capaz de suministrar una potencia de calefacción de 4.5 kW, de refrigeración de 6.8 kW y de ACS de 8.66 kW.

Marca	Modelo	Precio €
Saunier Duval	Genia Air Split 8 con MiPro Sense, módulo hidráulico y acumulador de ACS 150 l	8375
Vaillant	aroTHERM plus 8 con acumulación ACS de 150 l y módulo hidráulico	8805,17

Tabla 36: Comparación de bombas de aerotermia. Fuente: Elaboración propia (2023).

Se ha decidido finalmente utilizar la bomba de calor aerotérmica de Vaillant, ya que, aunque es más cara, es de la misma marca que los fan-coils elegidos y existiría la posibilidad de recibir un descuento en el presupuesto por eso, además al ser toda la instalación de la misma compañía, en caso de avería o revisiones lo cubriría toda la misma garantía y sería todo mucho más fácil.

La bomba elegida tiene una potencia de calefacción máxima de 8 kW, lo que satisfaría la demanda de calefacción de la vivienda, sin embargo, tiene una potencia de refrigeración máxima de 6.1 kW, que se quedaría un poco corto y no llegaría a satisfacer la demanda de la vivienda, pero económicamente es mucho más viable igual no llegar a las condiciones de confort un día de calor más extremo que irse a la siguiente gama, ya que con ella sobraría mucha potencia y es 3000 euros más cara.

La bomba elegida cuenta con un COP, de 4,57, lo que significa que por cada kW de energía eléctrica genera 4,57 kW de potencia calorífica. Además, al estar generando todo el ACS con aerotermia se considera que la vivienda utiliza energía renovable y por tanto el proyecto podría optar a una subvención de hasta 3000€ del fondo europeo “*Next generation EU*” del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España.



Ilustración 17: aroTHERM split con módulo hidráulico, depósito de agua caliente uniSTOR y control del sistema sensoCOMFORT. Fuente: Vaillant (2023).

2.4 Dimensionamiento de fan-coils

Como se ha explicado el principio de este capítulo se ha decidido, instalar fan-coils para asegurar las condiciones de confort de la vivienda.

Un fan-coil es un equipo de climatización "todo agua" constituido por un intercambiador de calor, un ventilador y un filtro. Pueden trabajar bien refrescando o bien calentando el ambiente, según se alimente de agua refrigerada procedente de un refrigerador o con agua caliente procedente de una bomba de calor de aerotermia o de una caldera común.³³

El fan-coil recibe el agua que la unidad exterior, en este caso la bomba de calor aerotérmica ha calentado o enfriado, dependiendo de la estación. Esta agua llega a un intercambiador en el cual entra en contacto con el aire que absorbe el fan-coil, en el caso de que se trate de agua caliente, le cederá calor al aire, si se tratase de agua fría, extraerá el calor latente del aire. Una vez el aire está climatizado pasa por el filtro y sale nuevamente a la vivienda.

En la siguiente tabla se muestran las distintas zonas con las cargas térmicas a compensar por el sistema de climatización. Se utilizará para el dimensionamiento de los fan-coils la carga térmica más restrictiva entre refrigeración y calefacción, para asegurarse de poder alcanzar las condiciones de confort durante todo el año.

Hay que puntualizar que el baño no va a ser climatizado, simplemente se añadirá un toallero calefactado eléctrico, para los meses de invierno.

Planta	Zona	Superficie (m ²)	Carga Refrigeración (W)	Carga Calefacción (W)	Carga más restrictiva (W)
Baja	Salón- Comedor	30.65	562	1698	1698
	Habitación 1	13.16	876	286	876

³³ Espiñeira P. (2022)

	Cocina	13.79	898	600	898
	Despacho	3.5	109	554	554
	Baño	6.13	146	539	539
Primera	Habitación 2	13.84	223	703	703
	Habitación 3	15.75	1105	313	1105
	Salón- Zona Común	41.36	778	2675	2675

Tabla 37: Zonas y cargas de climatización. Fuente: Elaboración propia (2023).

La bomba de calor deberá por tanto alimentar fan-coils en 7 estancias, distribuidas en dos plantas, con cargas térmicas que oscilan entre los 554W y los 2.675 kW.

Para calcular los volúmenes necesarios de aire de los fan-coils, para contrarrestar las cargas térmicas se usa la siguiente ecuación.

$$Q_t = c_p \cdot m_a \cdot (t_s - t_e)^{34} \quad [1]$$

En la cual:

$Q_t \rightarrow$ Carga térmica total que contrarrestar (W).

$c_p \rightarrow$ calor específico del agua (4186 J/g °C)

$m_a \rightarrow$ caudal de aire (l/s)

$t_s \rightarrow$ temperatura de salida del aire (°C)

$t_e \rightarrow$ temperatura de entrada del aire (°C)

³⁴ [Sánchez Villanueva, A.](#)

Se destacará entre las temperaturas de entrada y de salida de nuestros fan-coils en invierno y en verano.

	Te media (°C)	Ts media (°C)	ΔT
Refrigeración	12	21	9
Calefacción	25.6	21	4.6

Tabla 38: Temperaturas entrada y salida de los fancoils. Fuente: Elaboración propia (2023).

Podemos proceder por tanto ahora, a calcular el caudal máximo de cada fan-coil.

Planta	Zona	Carga más restrictiva (W)	C/R	ΔT	m_a (l/s)	m_a (l/h)
Baja	Salón-Comedor	1698	C	4.6	0.088	317.456
	Habitación 1	876	R	9	0.023	83.708
	Cocina	898	R	9	0.024	85.810
	Despacho	554	C	4.6	0.029	103.575
Primera	Habitación 2	703	C	4.6	0.037	131.432
	Habitación 3	1105	R	9	0.029	105.590
	Salón- Zona Común	2675	C	4.6	0.139	500.114

Tabla 39: Caudales de los fancoils. Fuente: Elaboración propia (2023).

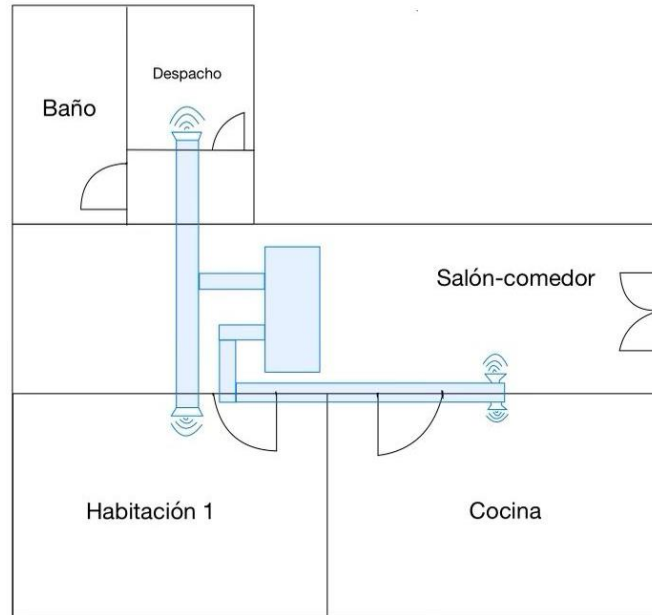


Ilustración 18: Simplificación distribución de fan-coils planta baja. Fuente: Elaboración propia (2023).

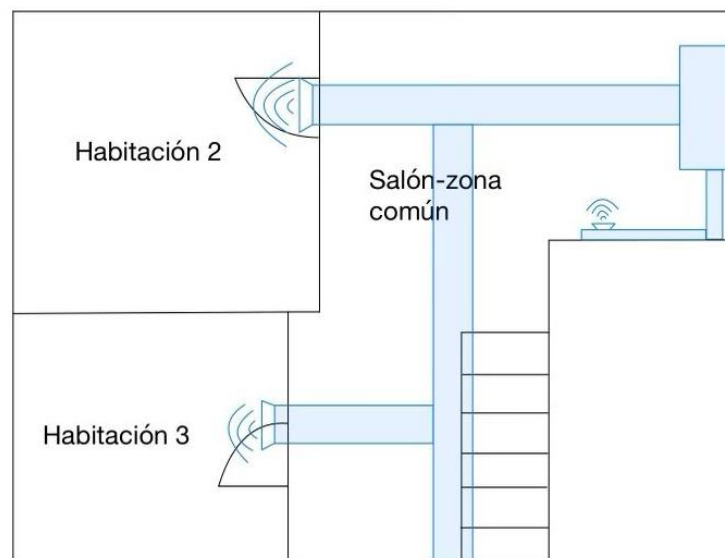


Ilustración 19: Simplificación distribución de fan-coils planta primera. Fuente: Elaboración propia (2023).

2.5 Elección de Fan-coils

Para la elección de los fan-coils, nos fijaremos en que los aparatos cumplan las siguientes características. Instalando un fan-coil en la planta superior y otro en la planta inferior.

Planta	Zona	m_a (l/h)	Total, planta (l/h)	Total, planta calefacción (W)	Total, planta refrigeración (W)
Baja	Salón-Comedor	317.46	590.548	2445	3138
	Habitación 1	83.71			
	Cocina	85.81			
	Despacho	103.58			
Primera	Habitación 2	131.43	737.136	2106	3691
	Habitación 3	105.59			
	Salón- Zona Común	500.11			

Tabla 40: Características que tienen que cumplir los fancoils. Fuente: Elaboración propia (2023).

Tras realizar una búsqueda y comparar los distintos fan-coils de las marcas principales, que cumplen los requisitos establecidos anteriormente, nos decantaremos por los fan-coils de la marca Vaillant, por ser los más económicos, cuyas características se adjuntan en el Anexo III.

Para la planta baja seleccionaremos el modelo VA 1-040 DN, que cuenta con una capacidad calorífica de refrigeración máxima de 3,99 kW, y de calefacción de 4,7 kW, y un caudal de 690 l/s.

Para la primera planta seleccionaremos el modelo VA 1-060 DN, que cuenta con una capacidad calorífica de refrigeración máxima de 5,85 kW, y de calefacción de 6,62 kW, y un caudal de 1050 l/s.

Marca	Planta	Modelo	Precio €
Saunier Duval	1	SD 4-040 ND	515
Saunier Duval	2	SD 4-060 ND	565
Vaillant	1	VA 1-040 DN	386,35
Vaillant	2	VA 1-060 DN	427,61
Baxi	1	IQD50	435
Baxi	2	IQD60	447
Daikin	1	FWE08D	458
Daikin	2	FWE10D	467

Tabla 41: Comparador de precios de los distintos modelos de fan-coils. Fuente: Elaboración propia (2023).

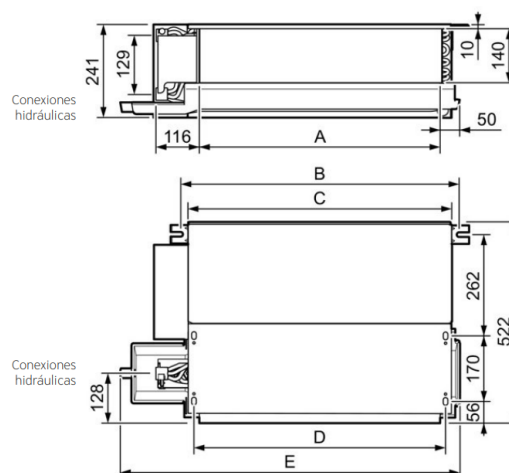


Ilustración 20: Dimensiones fan-coil conductos Vaillant. Fuente: Vaillant (2023).

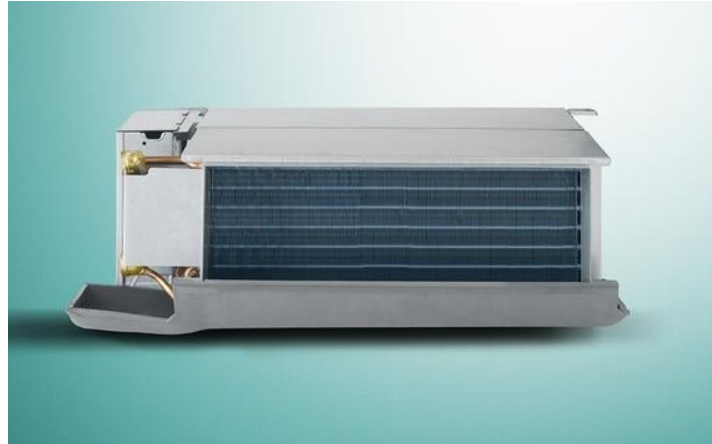


Ilustración 21: Fan-coil de conductos. Fuente: Vaillant (2023).

2.6 Dimensionado de conductos

Para asegurar que el aire aportado a las estancias es capaz de mantener las condiciones de confort es necesario dimensionar la sección de los conductos.

La sección se calcula como:

$$S = \frac{Q}{3600 \cdot v} \quad [2]$$

Siendo:

$Q \rightarrow$ Caudal (m^3/h).

$3600 \rightarrow$ segundos que hay en una hora

$v \rightarrow$ velocidad del aire (m/s)

$S \rightarrow$ sección del conducto (m^2)

Seleccionando la velocidad media del aire 5m/s , ya que por encima de 8 m/s , el sistema de refrigeración empieza a hacer un ruido significativo.

Planta	Zona	m_a (m ³ /h)	Sección (cm ²)
Baja	Salón- Comedor	317.46	176.36
	Habitación 1	83.71	46.50
	Cocina	85.81	47.67
	Despacho	103.58	57.54
Primera	Habitación 2	131.43	73.02
	Habitación 3	105.59	58.66
	Salón- Zona Común	500.11	277.84

Tabla 42: Dimensión de la sección de los conductos. Fuente: Elaboración propia (2023).

3. CONCLUSIONES

En este capítulo hemos decidido usar la gama de aerotermia aroTHERM de Vaillant, junto a sus fan-coils de conductos, para diseñar el sistema de climatización de la vivienda.

Se ha seleccionado como bomba de calor la aroTHERM Split plus 8, por su gran eficiencia energética, que cubre la demanda energética de la vivienda y la fácil combinación de esta con la energía fotovoltaica.

Como sistema de climatización se ha decidido usar fan-coils por conductos, ya que la mayor parte del tiempo que la vivienda este siendo utilizada será en verano y es un sistema de refrigeración más eficiente que el suelo refrescante.

Se ha optado por usar dos fan-coils ambos de Vaillant, el modelo VA 1-040 DN para la planta baja y el VA 1-060 DN para la primera planta.

Con este diseño, podremos proceder a diseñar un sistema fotovoltaico capaz de suministrar toda la energía eléctrica necesaria para satisfacer toda la demanda eléctrica del cortijo.

CAPÍTULO 7. DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

En este capítulo se diseñará el sistema de energía fotovoltaico que abastecerá las necesidades eléctricas de la vivienda.

Como se ha explicado en el capítulo dos, Andalucía es una de las provincias con más horas de luz, por lo tanto, Campillos es un buen lugar para aprovechar la energía solar fotovoltaica.

Además de las condiciones meteorológicas, los sistemas fotovoltaicos son ideales para viviendas rurales como el cortijo, que no se encuentran conectadas a la red eléctrica.

1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Un sistema fotovoltaico, es aquel que convierte la radiación solar en energía eléctrica.

Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos. En primer lugar, encontramos los que se encuentran conectados a la red, sistemas *grid connected*, no tienen que satisfacer cierta demanda eléctrica ya que en caso de falta será suministrada por la red, por lo tanto, no cuentan con un acumulador de energía y normalmente en el caso en el que se produzca más energía de la que se utilice esta es vendida a la compañía eléctrica y devuelta a la red.

En segundo lugar, encontramos los sistemas autónomos, también conocidos como sistemas *off-grid*, son aquellos sistemas que no están conectados a la red eléctrica y por lo tanto tienen que satisfacer la demanda eléctrica de la vivienda en su totalidad, es por esto por lo que estos sistemas cuentan con un acumulador de energía para poder satisfacer la demanda incluso aquellos días en los que la climatología no permita generar la energía demandada. Dentro de

estos sistemas existen los sistemas domésticos³⁵, las centrales híbridas y los sistemas de bombeo.

La radiación solar es lo que alimenta el sistema fotovoltaico, emitida por el sol, atraviesa la atmósfera hasta llegar a la corteza terrestre, la radiación solar no sufre pérdidas considerables al entrar en contacto con otros materiales, sin embargo, la irradiancia, que es la potencia de radiación solar por unidad de área incidente [W/m^2], sí que sufre pérdidas considerables al ser parte de esta interceptada por la corteza del planeta tierra.

Existen 3 tipos de radiación solar según la forma que llegan a la tierra:³⁶

- Radiación solar directa: es aquella que atraviesa la atmósfera sin sufrir cambios en su trayectoria.
- Radiación solar difusa: es aquella que, sí que sufre desviaciones en su trayectoria, debido a los gases que se encuentran en la atmósfera.
- Radiación solar reflejada: es aquella que es reflejada por la superficie terrestre.



Ilustración 22: Tipos de radiación solar. Fuente: Sfe solar (2019)

³⁵ También conocidos como SHS, *solar home systems*.

³⁶ Iberdrola (2023)

La suma de estas tres radiaciones es denominada irradiancia global.

2.4 Radiación solar.

Se va a analizar, por lo tanto, el recurso solar de la zona en la que se encuentra el cortijo, para posteriormente poder analizar la energía eléctrica que el sistema será capaz de generar.

Para ello se ha usado la aplicación desarrollada por la Comisión Europea PVGIS 5.2, que permite calcular la producción fotovoltaica, con la base de datos PVGIS-SARAH2.

Para ello se establecen las coordenadas del cortijo, 37.04, -4.915, se obtienen los últimos datos disponibles que corresponden al año 2020.

El tejado del cortijo es un tejado a dos aguas, con una inclinación aproximada de 15°, por lo tanto, la instalación fotovoltaica se encontrará en el tejado dirigido hacia el sur, de esta manera evitaremos sombras de otros edificios, en caso de no tener espacio suficiente en el tejado, se procederá a añadir más placas solares en el terreno adyacente al cortijo.

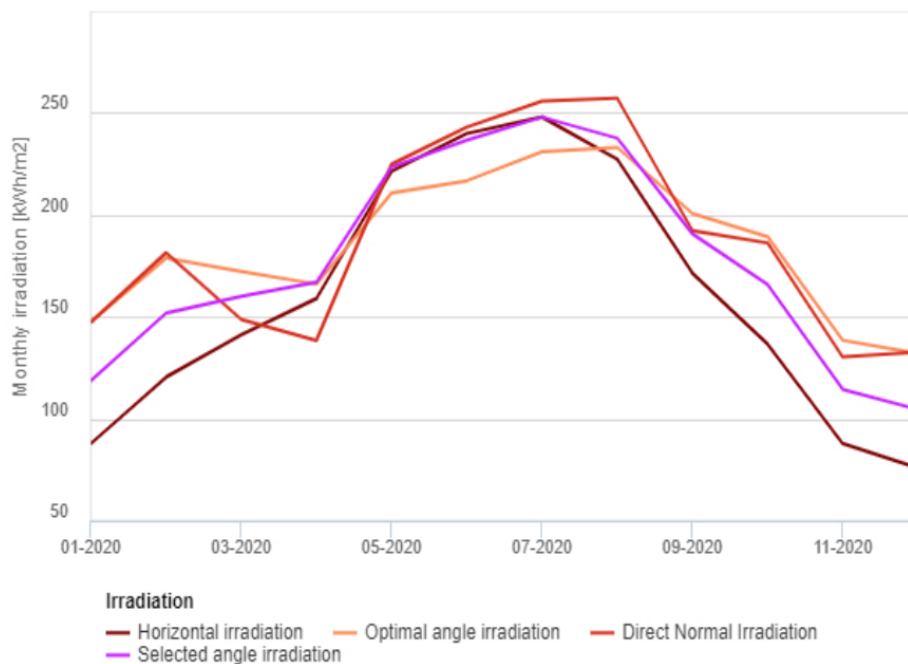


Ilustración 23: Radiación solar en el cortijo en 2020. Fuente PVGIS-5 (2023)

Mes	Irradiancia global horizontal [kW/m ²]	irradiancia directa normal [kW/m ²]	irradiancia global en el grado óptimo [kW/m ²]	irradiancia global a 15° [kW/m ²]
Enero	87.87	147.39	147.55	118.71
Febrero	120.5	181.44	178.71	151.88
Marzo	141.16	148.76	178.22	160.04
Abril	159.02	138.46	166.06	166.94
Mayo	221.36	224.91	210.81	223.54
Junio	239.91	243.07	216.74	236.62
Julio	248.03	255.75	230.97	247.92
Agosto	227.37	257.32	233.09	237.61
Septiembre	171.51	192.21	200.69	190.77
Octubre	136.67	186.26	189.33	165.9
Noviembre	87.85	130.36	138.48	114.41
Diciembre	75.84	132.6	131.99	104.61

Tabla 43: Irradiancia en 2020. Fuente: PVGIS-5 (2023)

Se observa que los meses de mayor irradiancia son julio y agosto, que son los meses en los que la vivienda se encuentra en más uso y los meses de menos irradiancia son diciembre y enero, meses en los que la casa también estaría en uso, pero se podría compensar esta baja irradiancia con energía almacenada de los meses anteriores.

Para facilitar los cálculos fotovoltaicos, es óptimo calcular la Hora Solar Pico, HSP, que son aquellas horas en las que la irradiancia es mayor a 1000 W/m², por lo tanto, si hablamos por ejemplo de 1 HSP, estamos hablando de que ese día la superficie ha recibido 1000 Wh/m².

Mes	HSP
Enero	3.83
Febrero	5.42
Marzo	5.16
Abril	5.56
Mayo	7.21
Junio	7.89
Julio	8.00
Agosto	7.66
Septiembre	6.36
Octubre	5.35
Noviembre	3.81

Diciembre	3.37
-----------	------

Tabla 44: Promedio de horas solares pico diarias en Campillos. Fuente: PVGIS-5 (2023)

El promedio anual diario de HSP, en el cortijo es por lo tanto 5.8.

2. DEMANDA DE POTENCIA ELÉCTRICA.

Para un correcto diseño del sistema fotovoltaico es necesario calcular cual es la demanda eléctrica de la vivienda.

Para el cálculo de la demanda de potencia eléctrica hay que tener en cuenta 3 tipos de cargas.

- Carga de iluminación: es la suma de la potencia de todas las luminarias conectadas en un circuito de iluminación.
- Cargas de toma de corriente: es la suma de las potencias de todo lo enchufado a una toma de corriente.
- Cargas especiales: son circuitos a los que tiene acceso algún dispositivo concreto como inducción, bombas de calor, fan-coils, etc.

Hay que definir también para este cálculo:

- Factor de demanda, FD: es un factor que determina cuantos dispositivos están activos simultáneamente, se mide en porcentaje.³⁷
- Carga, CI: es la potencia total de un circuito sin tener en cuenta el factor de demanda.
- Demanda máxima diversificada, DMD: es la potencia total de un circuito teniendo en cuenta los factores de demanda.

Los factores de demanda y la potencia prevista por las tomas de corriente se extraen del Reglamento electrotécnico de baja tensión, ITC-BT-25, 3.

³⁷ JFM Ingeniería EyT (2019)

Circuito de utilización	Potencia prevista por toma (W)	Factor de simultaneidad
Iluminación	200	0.75
Tomas de uso general	3450	0.2
Cocina y horno	5400	0.5
Lavavajillas, lavadora y termo eléctrico	3450	0.66
Baño, cuarto de cocina	3450	0.4
Aire acondicionado y calefacción	máx. potencia permisible por circuito 5750 W	-

Tabla 45: Características eléctricas de los circuitos. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del reglamento electrotécnico de baja tensión. (2023)

Se calculan las cargas de iluminación, teniendo en cuenta que las bombillas utilizadas en la vivienda son bombillas led de 5W. Poniéndose en la situación más desfavorable se tendrá en cuenta un día en el que la casa este en uso y sea invierno que hay menos horas de luz.

Planta	Estancia	N.º de bombillas	Potencia (W/Ud.)	Uso medio (h/día)	Carga diaria (Wh/día)	Demanda máxima diversificada (Wh/día)
Baja	Salón-comedor	6	5	3	90	67.5
	Cocina	4	5	3	60	45
	Habitación 1	3	5	3	45	33.75
	Despacho	2	5	2	20	15
	Baño	2	5	1	10	7.5
Primera	Habitación 2	3	5	3	45	33.75
	Habitación 3	3	5	3	45	33.75

Salón-zona común	8	5	3	120	90
					326.25

Tabla 46: Demanda máxima diversificada de luminarias. Fuente: Elaboración propia. (2023)

Tendremos por tanto una demanda diaria de 326.25 Wh/día en el sistema de iluminación.

A continuación, se calculará la carga de los aparatos conectados a la toma de corriente, como pueden ser televisores, microondas, tostadora, ordenador, etc.

Aparato	N.º. Aparatos	Potencia (W/Ud.)	Uso medio (h/día)	Carga diaria (Wh/día)	Factor de simultaneidad	Demanda máxima diversificada (Wh/día)
Televisor	2	200	3	1200	0.5	600
Microondas	1	1000	0.1	100	0.2	20
Equipos informáticos	3	200	3	1800	0.5	900
Aspiradora	1	1000	1	1000	0.2	200
Batidora	1	300	0.1	30	0.2	6
Secador de pelo	1	1000	0.1	100	0.2	20
Frigorífico	1	350	24	8400	0.4	3360
						5106

Tabla 47: Cargas de aparatos conectados a la toma de corriente. Fuente: Elaboración propia. (2023)

Tendremos por tanto una demanda diaria de 5106 Wh/día en el sistema de aparatos conectados a una toma de corriente.

Finalmente, se calculará la carga de los aparatos especiales, como pueden ser el horno, el sistema de climatización, el lavavajillas, etc.

Aparato	N.º. Aparatos	Potencia (W/Ud.)	Uso medio (h/día)	Carga diaria (Wh/día)	Factor de simultaneidad	Demanda máxima diversificada (Wh/día)
Horno	1	1500	0.5	750	0.5	375
Vitrocerámica	1	1000	1	1000	0.5	500
Lavadora	1	1500	1.5	2250	0.66	1485

Lavavajillas	1	1500	1	1500	0.66	990
Bomba de calor	1	4000	12	48000	0.6	28800
fan-coils	2	3000	5	30000	0.6	18000
						50150

Tabla 48: Cargas aparatos especiales. Fuente: Elaboración propia. (2023)

Tendremos por tanto una demanda diaria de 50150 Wh/día en el sistema de aparatos especiales.

Se necesitará por tanto dimensionar el sistema fotovoltaico de manera que aporte aproximadamente 55.5 kWh/día.

3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

3.1 Dimensionamiento de los módulos solares.

Se ha decidido por comodidad, instalar los paneles solares de la marca Vaillant, ya que tener todo instalado con el mismo fabricante es más económico, y la instalación más fácil.

Se trata del sistema fotovoltaico auroPower, que cuenta con los módulos y un inversor fotovoltaicos para convertir la corriente continua que se genera en el sistema a corriente alterna, pudiendo ser así utilizada por los aparatos que funcionen con este tipo de corriente.

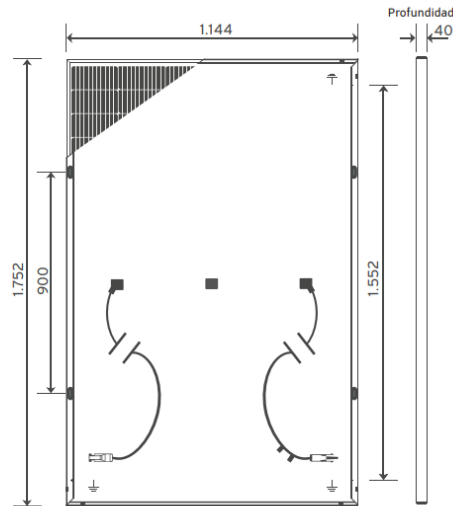


Ilustración 24: Dimensión de un panel fotovoltaico. Fuente: Vaillant (2023)

Los módulos fotovoltaicos son de semi-células monocristalinas tipo PERC de alto rendimiento con 400Wp de potencia nominal y 20% de eficiencia.³⁸ Se encuentran las especificaciones en el Anexo III de este proyecto.

Para calcular el n.º de módulos que son necesarios en la instalación se utiliza la siguiente fórmula matemática.

$$N.º \text{ módulos} = 1,1 \cdot \frac{\text{Energía demandada}}{\text{Energía producida por 1 módulo}} \quad [1]$$

Con la aplicación PVGIS-5 desarrollada por la Comisión Europea podemos calcular la energía mensual que produciría un módulo de 400Wp.

³⁸ Vaillant (2023)

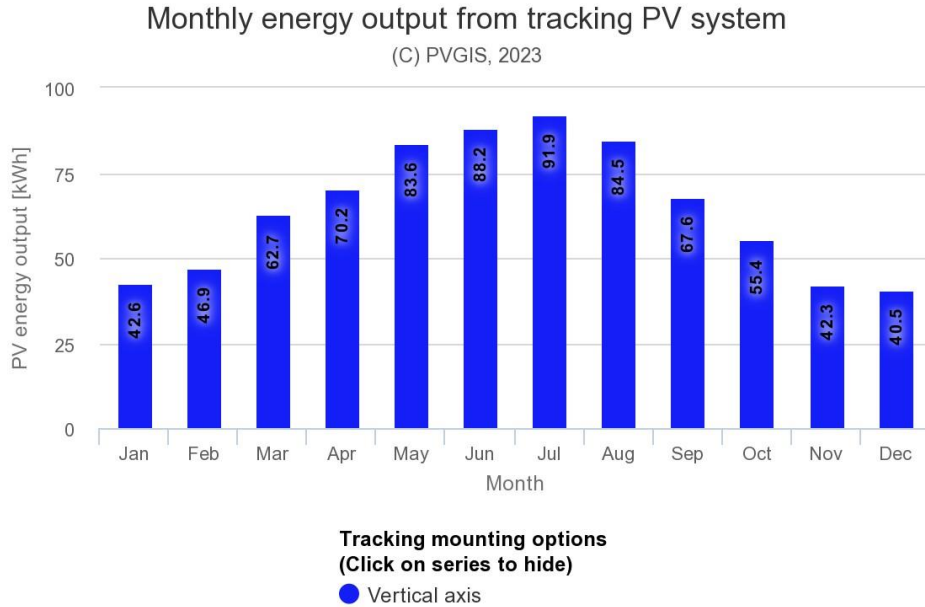


Tabla 49: Energía mensual producida por un módulo fotovoltaico de 400Wp. Fuente: PVGIS-5 (2023)

De este gráfico obtenemos, por tanto, que la media mensual de energía que produce un módulo es de 64.7 kWh.

Como se ha comentado en capítulos anteriores el cortijo se va a utilizar un máximo de 100 días al año, que hemos distribuido en los distintos meses.

Mes	Días de uso	KWh totales en el mes
Enero	7	389.08
Febrero	0	0.00
Marzo	7	389.08
Abril	7	389.08
Mayo	0	0.00
Junio	10	555.82
Julio	31	1723.05
Agosto	31	1723.05
Septiembre	7	389.08
Octubre	0	0.00

Noviembre	0	0.00
Diciembre	7	389.08

Tabla 50: Demanda energética mensual en kWh. Fuente: Elaboración propia (2023)

Se observa que los meses en los que más energía se demandan son julio y agosto, por lo tanto, aplicando la fórmula:

$$N.^\circ \text{ módulos} = 1,1 \cdot \frac{\text{Energía demandada}}{\text{Energía producida por 1 módulo}} = \frac{1723.05}{64.7} \cdot 1.1 = 29$$

Con la fórmula nos saldría que para satisfacer la demanda energética necesitaríamos 29 módulos fotovoltaicos.

Sin embargo, en Vaillant el pack que más paneles tiene ofrece 12 paneles de 400Wp. La dimensión de cada panel es de 2m².

En la siguiente imagen se observan las dos superficies de tejado en las que se podrían instalar los paneles solares. Eligiéndose la superficie 1, tratándose de un tejado a dos aguas con una inclinación de 15° y una superficie de 70.7m². Por lo que a priori cabrían los 29 paneles solares en el tejado.



Ilustración 25: Imagen aérea del cortijo. Fuente: Google Earth (2023)

Otro factor para tener en cuenta en la instalación de los módulos fotovoltaicos es el peso que puede soportar el tejado. Según el CTE, los valores máximos de peso que puede soportar una cubierta ligera son 40kg/m^2 . Como cada panel pesa 22kg , sería seguro instalar todos los paneles en esta cubierta.

Si nos fijamos en la simulación que realiza PVGIS-5, observamos que con 24 paneles fotovoltaicos excederíamos considerablemente la producción de energía, y aunque esto es favorable también supone un gasto económico muy grande.

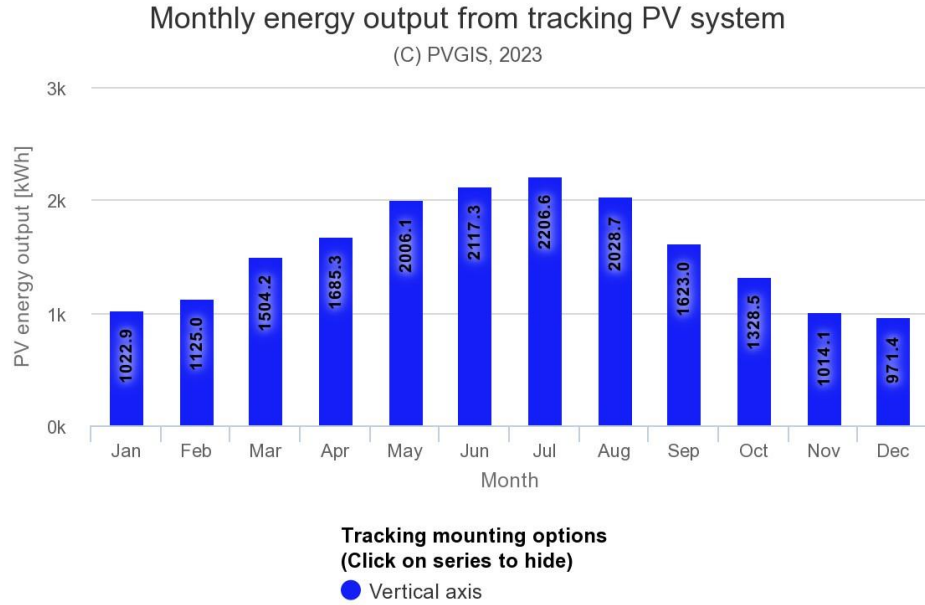


Ilustración 26: Energía generada mensualmente con 24 paneles fotovoltaicos. Fuente: PVGIS-5 (2023)

Haciendo pruebas con el simulador obtenemos que con 20 paneles satisfacemos casi toda la demanda.

Mes	Días de uso	KWh totales en el mes	KWh producidos mensualmente	Excedente/Falta
Enero	7	389.08	852.41	463.33
Febrero	0	0.00	937.49	937.49
Marzo	7	389.08	1253.5	864.42
Abril	7	389.08	1404.4	1015.32
Mayo	0	0.00	1671.74	1671.74
Junio	10	555.82	1764.42	1208.60
Julio	31	1723.05	1838.84	115.79
Agosto	31	1723.05	1690.58	-32.47
Septiembre	7	389.08	1352.53	963.45
Octubre	0	0.00	1107.08	1107.08
Noviembre	0	0.00	845.94	845.94
Diciembre	7	389.08	809.51	420.43

Tabla 51: Demanda y energía generada. Fuente: Elaboración propia. (2023)

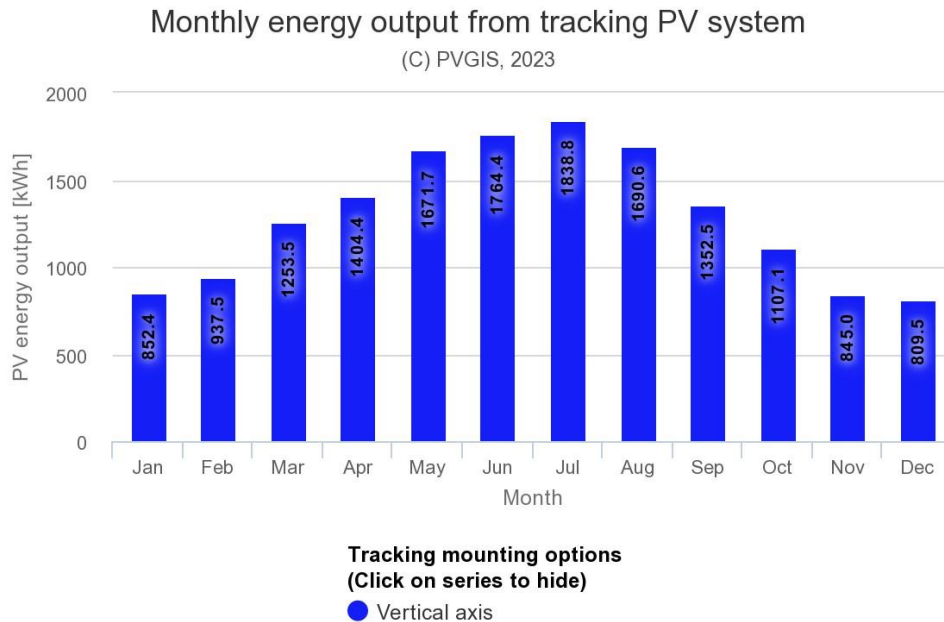


Ilustración 27: Energía generada mensualmente con 20 paneles fotovoltaicos. Fuente: PVGIS-5 (2023)

Las dimensiones del tejado son de 4.3 metros de ancho por 16.39 metros de largo, por lo que cabrían en serie como máximo 12 paneles y en paralelo cabrían 2 series.

Pero hay que tener en cuenta para el diseño las características del inversor VP 4000|2, en este caso el inversor elegido tiene una tensión de entrada máxima de 750 V y una corriente máxima de entrada de 13.5 A (especificaciones disponibles en el anexo III).

Cada placa tiene una tensión del circuito abierto de 37.08V y una corriente de cortocircuito de 13.46 A.

Por lo tanto, se realizará una conexión de las 20 placas en serie, lo que sumará una tensión del circuito abierto de 741,6V, por debajo del límite y una intensidad de cortocircuito de 13.46A, también por debajo del límite.

Para asegurarse de que siempre se llegue a la demanda energética a pesar de que las condiciones climatológicas no sean óptimas se procederá a seleccionar una batería que almacene la energía excedente.

3.2 Dimensionamiento de la batería.

Para el cálculo de la capacidad mínima que debería tener la batería de nuestra instalación para evitar quedarse por debajo de la demanda energética se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad mín. batería} = \frac{\text{demanda de energía total} \cdot \text{días de autonomía}}{\text{profundidad de descarga} \cdot \text{tensión del sistema}} \quad [2]$$

La tensión nominal del sistema como se ha explicado anteriormente es de 750V y la demanda de energía total 55.5 kWh/día, y una profundidad de descarga del 80% y 2 días de autonomía.

$$\text{Capacidad mín. batería} = \frac{55500 \cdot 2}{0.8 \cdot 750} = 185 \text{ Ah}$$

Las baterías suelen ser de 12,24 y 48V, por lo que por ejemplo se necesitarían 16 baterías de 48V y 200Ah, conectadas en serie para soportar el voltaje del sistema.

La viabilidad de esto se estudiará en el siguiente capítulo, pero a priori se puede ver que sería poco viable económicamente ya que una batería de 12V y 200Ah cuesta 441,29 €, y se necesitarían 63 baterías lo que ascendería a 28.000 €.

4. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha calculado la demanda eléctrica de la vivienda, analizando el consumo de luces, electrodomésticos y el sistema de climatización. Esta demanda eléctrica es de 55,5kWh al día.

Una vez calculada la demanda eléctrica se ha procedido a dimensionar el sistema fotovoltaico, el cual se ha decidido que sea también del fabricante Vaillant, como el sistema de climatización, por la comodidad de instalación y la oportunidad de obtener algún descuento en el presupuesto.

Se ha calculado que se necesitan 20 placas fotovoltaicas de 400Wp conectadas en serie para abastecer la demanda eléctrica.

Al tratarse de un sistema *off-grid* autónomo se ha estudiado también la necesidad del uso de una batería y se ha dimensionado esta, con una capacidad mínima de 185Ah.

Una vez finalizado el diseño tanto del sistema fotovoltaico en este capítulo, como del sistema de climatización en el capítulo anterior, se procederá a analizar la viabilidad económica del sistema.

CAPÍTULO 8. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

En este capítulo se analizará la viabilidad económica del proyecto.

1. PRESUPUESTO

A continuación, se detallará el coste de la instalación del sistema de climatización y el sistema fotovoltaico.

Aparato	Precio con IVA	Gastos de envío	Gastos de instalación	Total
Bomba de Aerotermia Vaillant aroTHERM plus 8 + sensoCOMFORT + módulo hidráulico + depósito de 150l ACS	8,769.84 €	160.93 €	120.00 €	9,050.77 €
Fan-coil Vaillant aroVAIR VA 1-060 DN tipo conducto	452.00 €	0.00 €	1,200.00 €	1,652.00 €
Fan-coil Vaillant aroVAIR VA 1-040 DN tipo conducto	415.00 €	0.00 €	1,200.00 €	1,615.00 €
Kit Autoconsumo Placas solares fotovoltaicas Vaillant auroPOWER pro 4.0 inversor + 12 placas	3,173.35 €	156.09 €	160.00 €	3,489.44 €
8 placas solares Vaillant auroPower	1,012.77 €	0.00 €	160.00 €	1,172.77 €
Total	13,822.96 €	317.02 €	2,840.00 €	16,979.98 €

Tabla 52: Presupuesto de los aparatos del proyecto. Fuente: elaboración propia (2023)

Se observa que el coste del proyecto asciende a 16,979.98 €, y estimando los gastos de instalación, sin tener en cuenta la instalación de baterías, que se discutirá en el siguiente apartado.

2. BATERÍA VS GENERADOR

Como se comentó en el capítulo anterior, debido a la alta tensión del sistema, 750V, y que las baterías convencionales están en un rango de 12 a 48V, se necesitarían entre 16 y 63 baterías conectadas en serie para poder soportar el voltaje de la instalación fotovoltaica.

En el capítulo anterior se calculó que se necesitaría una batería con una capacidad de 185 Ah.

Haciendo un estudio de mercado, se observa el presupuesto para las baterías en función del voltaje de estas.

Batería	N.º de baterías	Precio	Total
Batería Frontal Tensite 12V 300Ah	63	288.95 €	18,203.85 €
Batería de litio Cegasa Ebick Ultra 175 280Ah 48V	16	5,982.12 €	95,713.92 €

Tabla 53: Presupuesto de baterías para la instalación. Fuente: Elaboración propia (2023)

Se observa que el coste de las baterías superaría al coste de los aparatos de la instalación por lo tanto no se considera rentable el uso de baterías para el almacenamiento de la energía solar.

En defecto, se comprará un generador, para asegurarse de tener energía eléctrica los días en los que la energía que produzca el sistema fotovoltaico no sea suficiente.

En el capítulo 7 se estimó la demanda eléctrica de la vivienda, siendo esta de 50150 Wh/día, también se simuló la producción de energía que tendría el sistema fotovoltaico con el

programa PVGIS-5, y se calculó la falta de energía de los meses en los que las condiciones climatológicas no eran óptimas.

Mes	Días de uso	KWh totales en el mes	KWh producidos mensualmente	Excedente/Falta
Enero	7	389.08	852.41	463.33
Febrero	0	0.00	937.49	937.49
Marzo	7	389.08	1253.5	864.42
Abril	7	389.08	1404.4	1015.32
Mayo	0	0.00	1671.74	1671.74
Junio	10	555.82	1764.42	1208.60
Julio	31	1723.05	1838.84	115.79
Agosto	31	1723.05	1690.58	-32.47
Septiembre	7	389.08	1352.53	963.45
Octubre	0	0.00	1107.08	1107.08
Noviembre	0	0.00	845.94	845.94
Diciembre	7	389.08	809.51	420.43

Tabla 54: Demanda y energía generada. Fuente: Elaboración propia (2023)

Observamos por lo tanto que el único excedente sería en agosto y necesitaríamos generar 33kWh. Lo que nos llevaría a necesitar un generador de 9,25kVA. Valor al que aplicaremos un factor de seguridad del 20%, quedándonos finalmente, que para más seguridad deberíamos contar con un generador de 10,175kVA.

Elegiremos en este caso el generador de combustible diésel de la marca Hyundai, el modelo DHY12000XSE-T de 12,5kVA.

Volvemos a calcular el presupuesto añadiendo el generador.

Fan-coil Vaillant aroVAIR VA 1-060 DN tipo conducto	452.00 €	0.00 €	1,200.00 €	1,652.00 €
Fan-coil Vaillant aroVAIR VA 1-040 DN tipo conducto	415.00 €	0.00 €	1,200.00 €	1,615.00 €

Kit Autoconsumo Placas solares fotovoltaicas Vaillant auroPOWER pro 4.0 inversor + 12 placas	3,173.35 €	156.09 €	160.00 €	3,489.44 €
8 placas solares Vaillant auroPower	1,012.77 €	0.00 €	160.00 €	1,172.77 €
Generador Hyundai DHY12000XSE-T 12.5kVA	5,382.31 €	0.00 €	0.00 €	5,382.31 €
Total	19,205.27 €	317.02 €	2,840.00 €	22,362.29 €

Tabla 55: Presupuesto final de aparatos. Fuente: elaboración propia (2023)

Quedando un presupuesto final de 22,362,29 €.

3. AYUDAS Y SUBVENCIONES

En el capítulo 3 se habló de las subvenciones que existen en la comunidad de Andalucía para energías renovables. En este proyecto se pueden optar tanto a las subvenciones que ofrece la comunidad autónoma de Andalucía a la instalación de aerotermia, como a la que ofrecen sobre la instalación del sistema fotovoltaico. Se tratan de los “incentivos para energías renovables en autoconsumo, almacenamiento y para térmicas en sector residencial”.

La subvención a la aerotermia es el programa 6, en el que en el sector residencial hay disponible 500€/kW, hasta llegar a un máximo de 3000€/vivienda. La bomba de aerotermia de este proyecto alimenta 15,5kW, por lo tanto, a ayuda recibida sería del máximo, 3000 €.

El sistema fotovoltaico está amparado bajo el programa 4, en el que el sector residencial dispone de 600€/kWp, en este proyecto se tiene una instalación en la que hay 20 placas fotovoltaicas de 400Wp, total de 8kWp. Por lo tanto, la ayuda recibida sería de 4800 €.

Finalmente obtendríamos un presupuesto tras subvenciones.

Presupuesto total del proyecto	22,362.29 €
-----------------------------------	-------------

Subvención de aerotermia	3,000.00 €
subvención del sistema fotovoltaico	4,800.00 €
Total	14,562.29 €

Tabla 56: Presupuesto final tras subvenciones. Fuente: Elaboración propia (2023)

4. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Se va a comparar la rentabilidad de cada instalación con el sistema no renovable equivalente.

Si desglosamos el presupuesto total de 14,562.29€:

- 9,317.77 € corresponden al sistema de aerotermia, que se va a comparar con un sistema con una caldera de gas convencional.
- 5,244.52 € corresponden al sistema de autoconsumo fotovoltaico, que se va a comparar con una instalación convencional conectada a red.

Se realizará el estudio de rentabilidad en un período de 25 años.

4.1 Sistema de climatización y ACS

Ambas instalaciones tendrán que hacer frente a las cargas térmicas calculadas en el capítulo 4 de este proyecto y a la demanda de ACS calculada en el capítulo 5.

El sistema de aerotermia tiene un coste inicial de 9,317.77 €, y un coste anual de 50 euros por revisión de la instalación.

Suponiendo que toda la demanda eléctrica sea cubierta por el sistema fotovoltaico, el gasto anual de climatización y ACS con aerotermia sería nulo.

Se considerará un precio de gas natural de 0.0403€/kWh, que irá aumentando cada año un 2%.

Mes	KWh totales en el mes	Precio del kWh	Gasto mensual
Enero	350.17	0.04	14.11 €
Febrero	0.00	0.04	0.00 €
Marzo	350.17	0.04	14.11 €
Abril	350.17	0.04	14.11 €
Mayo	0.00	0.04	0.00 €
Junio	500.24	0.04	20.16 €
Julio	1550.74	0.04	62.50 €
Agosto	1550.74	0.04	62.50 €
Septiembre	350.17	0.04	14.11 €
Octubre	0.00	0.04	0.00 €
Noviembre	0.00	0.04	0.00 €
Diciembre	350.17	0.04	14.11 €
Gasto anual			215.71 €

Tabla 57: Gasto en climatización y ACS mensual con una caldera de gas natural. Fuente: Elaboración propia (2023)

Se considerará el precio del gas natural constante todos los meses del año.

La inversión inicial en una caldera de gas natural capaz de satisfacer la demanda ronda los 2000 €, en este caso se ha elegido la caldera Themafast miconnect de Saunier Duval que tiene un precio de 1985 €. Los costes de operación anuales son de 215.72 €.

4.2 Sistema fotovoltaico

En cuanto al sistema fotovoltaico se comparará con una instalación tradicional conectada a la red eléctrica española.

Para ello se calculará el gasto del primer año del sistema eléctrico conectado a la red. Se utilizará el precio de la luz de diciembre de 2022 para el primer año y se estimará que crece un 2% cada año.

Mes	KWh totales en el mes	Precio del kWh	Gasto mensual
-----	-----------------------------	-------------------	------------------

Enero	389.08	0.34	130.34 €
Febrero	0.00	0.34	0.00 €
Marzo	389.08	0.34	130.34 €
Abril	389.08	0.34	130.34 €
Mayo	0.00	0.34	0.00 €
Junio	555.82	0.34	186.20 €
Julio	1723.05	0.34	577.22 €
Agosto	1723.05	0.34	577.22 €
Septiembre	389.08	0.34	130.34 €
Octubre	0.00	0.34	0.00 €
Noviembre	0.00	0.34	0.00 €
Diciembre	389.08	0.34	130.34 €
			1,992.35 €

Tabla 58: Gasto en energía eléctrica con un sistema conectado a la red. Fuente: Elaboración propia (2023)

La inversión inicial de este sistema es cero, ya que se considera que la propia instalación eléctrica de la vivienda está conectada a la red.

El sistema de placas fotovoltaicas tiene una inversión inicial de 5,244.52 €, y un gasto anual constante de 100 euros por la revisión de la instalación.

4.3 Rentabilidad total del proyecto

Se observa por tanto en la siguiente tabla el gasto del proyecto y el gasto del proyecto no renovable que coincide con el ahorro de nuestro proyecto. Podemos así calcular los flujos de caja restando ahorro menos gasto.

Año	Gasto aerotermia	Gasto gas natural/ ahorro de la aerotermia	Gasto sistema fotovoltaico	Gasto sistema red/ ahorro del sistema fotovoltaico	Gasto del proyecto renovable	ahorro del proyecto no renovable	Flujos de caja
0	-9,317.77 €	1,985.00 €	-5,244.52 €	0.00 €	-14,562.29 €	1,985.00 €	-12,577.29 €
1	-50.00 €	215.72 €	-100.00 €	1,992.35 €	-150.00 €	2,208.07 €	2,058.07 €
2	-50.00 €	220.03 €	-100.00 €	2,032.19 €	-150.00 €	2,252.23 €	2,102.23 €
3	-50.00 €	224.44 €	-100.00 €	2,072.84 €	-150.00 €	2,297.27 €	2,147.27 €

4	-50.00 €	228.92 €	-100.00 €	2,114.29 €	-150.00 €	2,343.22 €	2,193.22 €
5	-50.00 €	233.50 €	-100.00 €	2,156.58 €	-150.00 €	2,390.08 €	2,240.08 €
6	-50.00 €	238.17 €	-100.00 €	2,199.71 €	-150.00 €	2,437.88 €	2,287.88 €
7	-50.00 €	242.94 €	-100.00 €	2,243.70 €	-150.00 €	2,486.64 €	2,336.64 €
8	-50.00 €	247.79 €	-100.00 €	2,288.58 €	-150.00 €	2,536.37 €	2,386.37 €
9	-50.00 €	252.75 €	-100.00 €	2,334.35 €	-150.00 €	2,587.10 €	2,437.10 €
10	-50.00 €	257.81 €	-100.00 €	2,381.04 €	-150.00 €	2,638.84 €	2,488.84 €
11	-50.00 €	262.96 €	-100.00 €	2,428.66 €	-150.00 €	2,691.62 €	2,541.62 €
12	-50.00 €	268.22 €	-100.00 €	2,477.23 €	-150.00 €	2,745.45 €	2,595.45 €
13	-50.00 €	273.59 €	-100.00 €	2,526.78 €	-150.00 €	2,800.36 €	2,650.36 €
14	-50.00 €	279.06 €	-100.00 €	2,577.31 €	-150.00 €	2,856.37 €	2,706.37 €
15	-50.00 €	284.64 €	-100.00 €	2,628.86 €	-150.00 €	2,913.50 €	2,763.50 €
16	-50.00 €	290.33 €	-100.00 €	2,681.44 €	-150.00 €	2,971.77 €	2,821.77 €
17	-50.00 €	296.14 €	-100.00 €	2,735.06 €	-150.00 €	3,031.20 €	2,881.20 €
18	-50.00 €	302.06 €	-100.00 €	2,789.77 €	-150.00 €	3,091.83 €	2,941.83 €
19	-50.00 €	308.10 €	-100.00 €	2,845.56 €	-150.00 €	3,153.66 €	3,003.66 €
20	-50.00 €	314.26 €	-100.00 €	2,902.47 €	-150.00 €	3,216.73 €	3,066.73 €
21	-50.00 €	320.55 €	-100.00 €	2,960.52 €	-150.00 €	3,281.07 €	3,131.07 €
22	-50.00 €	326.96 €	-100.00 €	3,019.73 €	-150.00 €	3,346.69 €	3,196.69 €
23	-50.00 €	333.50 €	-100.00 €	3,080.13 €	-150.00 €	3,413.62 €	3,263.62 €
24	-50.00 €	340.17 €	-100.00 €	3,141.73 €	-150.00 €	3,481.90 €	3,331.90 €
25	-50.00 €	346.97 €	-100.00 €	3,204.56 €	-150.00 €	3,551.54 €	3,401.54 €

Tabla 59: Flujos de carga del proyecto. Fuente: elaboración propia (2023)

Para calcular el VAN se considera una tasa de descuento del dos por ciento. Y con la fórmula de Excel se calculan el VAN y el TIR.

VAN	TIR
37,856.32 €	18%

Tabla 60: VAN y TIR del proyecto. Fuente: elaboración propia (2023)

5. CONCLUSIONES SOBRE EL ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se ha estudiado la rentabilidad económica del proyecto, comparándolo con una instalación tradicional conectada a la red eléctrica española y con un sistema de climatización con una caldera de condensación de gas natural.

Se han calculado los gastos del proyecto y también los ahorros respecto del proyecto tradicional, esto lleva al cálculo del VAN y el TIR. Se observa que el VAN es positivo lo que indica que es un proyecto rentable a lo largo de los años a pesar de que la inversión inicial sea muy alta.

Se observa además que tiene una rentabilidad bastante alta con un TIR del 18%.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

El objetivo principal de este proyecto era desarrollar un sistema de climatización eficiente y sostenible que garantizase las condiciones de confort de la vivienda. Debido al carácter sostenible de este proyecto, se pensó también en diseñar un sistema fotovoltaico que alimentase las necesidades eléctricas del cortijo.

1. CONCLUSIONES

En primer lugar, se ha estudiado el cortijo y el terreno y localidad en la que se encuentra. Debido a la antigüedad del cortijo el diseño de un sistema de climatización haría que se volviese a utilizar con frecuencia dándole una vida de ocio familiar a un edificio destinado en su construcción a la actividad agrícola y ganadera. Pudiendo así utilizar el cortijo como segunda vivienda en los periodos de vacaciones.

Además de esto las condiciones meteorológicas de Campillos, lugar en el que se encuentra el cortijo, hacen muy favorable la instalación de un sistema de energía renovable. Su condición de edificio rural, asilado, hacen que sea un sistema *off-grid* idóneo para la implementación de este tipo de sistemas, que son sostenibles a la vez que muy rentables económicamente.

Para el desarrollo del proyecto ha sido fundamental el marco-jurídico, la búsqueda de leyes y normativas que aseguren tanto la seguridad del proyecto como la legalidad del mismo.

Para el diseño del sistema de climatización ha sido indispensable el cálculo de las cargas térmicas de la vivienda que permitan asegurar las condiciones de confort todo el año para que se pueda disfrutar del cortijo, estas se han establecido en 25°C interiores en verano y 21°C interiores en invierno.

Para calcular las cargas térmicas se ha tenido también que distribuir la vivienda en las estancias a climatizar, calculando así, mediante la hoja de cálculo de cargas térmicas desarrollada por ATECYR y la Universidad Politécnica de Valencia, se han calculado 7.4kW que contrarrestar en invierno y 4.7kW que contrarrestar en verano. Estas cargas totales incluyen las cargas de ventilación e infiltración, las cargas internas y las cargas de mayoración.

A parte de las cargas térmicas para el diseño del sistema de climatización es necesario calcular la demanda de agua caliente sanitaria, ya que la potencia necesaria para calentar el agua será generada por la misma caldera que abastezca el sistema de climatización. Dicha demanda asciende para 6 personas a 14.5kW.

En segundo lugar, se ha diseñado un sistema de climatización, que cumple dos requisitos fundamentales, es capaz de satisfacer la demanda y además es sostenible. Para esto se ha optado por utilizar un sistema combinado de aerotermia y fan-coils.

La aerotermia es una energía renovable con un COP de 4, lo que significa que por cada kilowatio de energía que consume, genera cuatro kilo-watios de potencia, lo que lo hace un sistema muy eficiente. Para aprovechar al máximo esta eficiencia se ha optado por un sistema de refrigeración-calefacción de fan-coils por conductos, debido a que son mucho más eficientes a la hora de refrigerar y la casa está ocupada en mayor porcentaje en días de verano.

Se ha decidido que estos fan-coils sean de conductos debido a que sale más rentable y además queda más estético visualmente al encontrarse los conductos escondidos en un falso techo. Esto ha sido posible, debido a los altos techos de la vivienda con una altura de 3 metros. Para obtener la mayor eficiencia posible, se ha diseñado un sistema de fan-coils por cada planta, con un fan-coil de techo en cada una que alimente todas las estancias de la planta.

Todos los aparatos de este sistema están conectados a la corriente eléctrica para funcionar, por lo tanto, se ha diseñado un sistema fotovoltaico *off-grid* capaz de alimentar el sistema de climatización y la demanda eléctrica de la vivienda.

Con la aplicación PVGIS-5 de la Comisión Europea, se ha realizado una simulación para calcular la irradiancia de la zona, que asciende a una media anual de 5.8 Horas solares pico, lo que significa que en año tenemos 5.8 horas en las que la radiación solar es mayor a 1000kWh. Esto hace que la zona sea muy favorable para la instalación de placas solares.

El tercer paso de este proyecto ha sido dimensionar el sistema fotovoltaico. Para ello se ha calculado la demanda eléctrica de la vivienda, teniendo en cuenta las cargas luminarias, las cargas de las tomas de corriente que son todos aquellos pequeños electrodomésticos y las cargas especiales, que abarcan los electrodomésticos de más potencia, así como el sistema de climatización y ACS.

Para abastecer la demanda se necesitan 20 placas solares conectadas en serie, con un voltaje pico de 400Wp por unidad, que serán colocadas en el tejado a dos aguas del cortijo.

Por último, se ha realizado el análisis de rentabilidad económica del proyecto en el que además del cálculo del VAN y del TIR, se ha analizado que sería mejor en el sistema si el uso de baterías o de un generador para los días en los que no se alcance la demanda eléctrica.

Se ha llegado a la conclusión de que las baterías no salen rentables económicamente, debido a su alto precio y al gran número de unidades necesarias por lo que se ha optado por el uso de un generador.

Se observa que la rentabilidad del proyecto es buena con un VAN positivo de 37,856.32 €, lo que indica que la inversión no tiene pérdidas en el largo plazo y una rentabilidad del 18% en 25 años. Para este cálculo se han estimado los gastos del proyecto, así como el ahorro respecto a un proyecto similar con una instalación de climatización de caldera de condensación de gas natural y una instalación eléctrica tradicional conectada a la red.

2. FUTUROS DESARROLLOS

Los futuros desarrollos del proyecto se pueden enfocar en aumentar el confort de la vivienda y la eficiencia energética, mediante una reforma del cortijo. Aumentando el aislamiento de

la vivienda reduciríamos las cargas térmicas y por lo tanto la demanda de calefacción. Podrían cambiarse las ventanas y las puertas por unas de doble vidrio e introducir un aislante térmico en las paredes.

De cara al confort podría pensarse en una remodelación de la vivienda, centrándose en el baño y la cocina.

Se podría también de cara al futuro intentar explotar el cortijo como un alojamiento rural, para obtener ingresos, por lo que se podría diseñar un plan de negocio para hacer posible el alquiler de la vivienda en los periodos en los que no está siendo utilizada por los dueños.

Otra opción menos convencional sería el diseño de una almazara para producir aceite con la cosecha del olivar que rodea al cortijo. Se podría con esto diseñar un negocio de aceite de oliva, o usar este aceite para el consumo propio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abella, M. A., Escudero Díaz, U. J., & Polo, S. L. (2001). *Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*.
2. AEMET (2022). Datos recuperados el 5 de febrero de 2023 de: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/productosAEMET?>
3. *Aeroterminia e Hidrotermia*. (s/f). Idae.es. Recuperado el 14 de agosto de 2023, de <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/aeroterminia-e-hidrotermia>
4. Agencia Andaluza de la Energía. (s. f.). Recuperado 3 de febrero de 2023, de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/informacion-energetica/energias-renovables>
5. Alonso, J. A. (2018, June 5). *Radiación, Irradiancia y Azimut en Fotovoltaica SunFields*. SunFields Empresa de Placas y Equipos Solares; SunFields Europe. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
6. Ayuntamiento de Campillos. (s. f.). Municipio. Recuperado el 20 de junio del 2023 de: <https://www.campillos.es/>
7. *Bájate la potencia*. (n.d.). Bajatelapotencia.org, recuperado el 23 de agosto de 2023 de: <http://www.bajatelapotencia.org/la-potencia-que-necesitas/>
8. *Baterías*. (n.d.). Autosolar.es. Recuperado el 24 de agosto de 2023 de: <https://autosolar.es/baterias>
9. Bruno. (2019, enero 8). *Como calcular un conducto de aire*. Ingenierosindustriales.com; Recuperado de: <https://www.ingenierosindustriales.com/como-calcular-un-conducto-de-aire/>

10. Catálogo Comercial. Baxi.es. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de https://mediacdn.baxi.es/-/media/inriver-media/baxi-iberia-media/2021/8/26/fcbroch1es01pdf.pdf?v=1&d=20210826T093912Z&_ga=2.215269271.1494518711.1692274464-b2650799-9758-4fbe-9844-3a33701697fe
11. Catálogo Comercial. Idaikin.es. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://idaikin.es/catalogos/tarifa-daikin-calefaccion-2022-2023.pdf>
12. Catálogo Comercial. Saunierduval.es. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://www.saunierduval.es/downloads/tarifa-saunier-duval/2023-3/sd-tarifa-2023-2596805.pdf>
13. Catálogo Comercial. Suelosolar.com. Recuperado el 16 de agosto de 2023, de <https://suelosolar.com/guia/acs-solar/temperatura-agua-ciudades>
14. Catálogo Comercial. Vaillant.es. Recuperado el 17 de agosto de 2023, de <https://www.vaillant.es/downloads/productos/arovair/arovair-catalogo-comercial-1578626.pdf>
15. *Cómo calcular cuántas baterías necesito para mi instalación solar.* (2023, May 5). Blog de energía solar. <https://solarplak.es/energia/como-calcular-cuantas-baterias-necesito-para-mi-instalacion-solar/>
16. *Conoce cómo instalar una Aerotermia en una vivienda unifamiliar (Segunda parte).* (2020, noviembre 2).
17. Corporativa, I. (2021, abril 22). *AEROTERMIA: VENTAJAS, BENEFICIOS Y APLICACIONES.* Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-aerotermia-y-bombas-de-calor>
18. Corporativa, I. (2021, April 22). *Radiación solar.* Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>
19. Djalilian, S., & Tahbaz, M. (s/f). *Climate control strategies used in rural housing: Ardebil province.* Edu.hk. Recuperado el 7 de febrero de 2023 de: http://web5.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/edward/www/plea2018/plea/2006/Vol2/PLEA2006_PAPER771.pdf
20. Espiñeira, P. (2022, agosto 22). *Fan Coil - Funcionamiento del aire acondicionado toda agua o ventiloconvector - caloryfrio.com.* Caloryfrio.com; Caloryfrio.

- <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/fan-coil.html>
21. *EUR-Lex - 32009L0028 - EN - EUR-Lex.* (s/f). Europa.Eu. Recuperado el 14 de agosto de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32009L0028>
 22. García, M. (2008, 18 junio). Campillos inaugura el primer parque fotovoltaico de Málaga. Málaga Hoy. https://www.malagahoy.es/provincia/Campillos-inaugura-primer-fotovoltaico-Malaga_0_160184288.html
 23. Garrido González, A. J. (2020). *Proyecto de legalización de cortijo mediante AFO (Asimilado Fuera de ordenación) y proyecto de rehabilitación de cortijo en dos viviendas turísticas de alojamiento rural para alquiler.* [Trabajo de Fin de Grado] Universidad de Sevilla.
 24. Gonzalo, A. (2009). Bioenergía para climatización. *Bioenergy International* n°3, 46. https://issuu.com/avebiom/docs/bie_n_3_online
 25. Guerra, C. R. V. (2016). Nuevas estrategias en la gestión del Patrimonio Industrial. *I Congreso Internacional de Patrimonio Industrial y de la Obra Pública*, 234–248.
 26. Gustaf Leijonhufvud & Tor Broström (2018) Standardizing the indoor climate in historic buildings: opportunities, challenges, and ways forward, *Journal of Architectural Conservation*, 24:1, 3-18, DOI: 10.1080/13556207.2018.1447301
 27. Instituto Nacional de Estadística. *1945-1975.* (s. f.). Recuperado 19 de junio de 2023 de: https://www.ine.es/expo_anuarios/1945-1975.html
 28. *JRC photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European commission.* (2016, January 11). Europa.Eu. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
 29. Laguna Peñuelas, F. (1972). *Determinación de cargas en climatización* [Tesis]. Universidad Politécnica de Madrid.
 30. Lara Torrillas, J. (2014). *Sistema fotovoltaico autónomo para casa rural.* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Carlos III de Madrid.

31. Lillo, I. (2019, 27 diciembre). El nuevo parque eólico de Málaga produce electricidad para 30.000 hogares. Diario Sur. <https://www.diariosur.es/malaga/nuevo-parque-eolico-20191227115350-nt.html>
32. Llopis, M. (2017). Evolución del sector de la climatización en los últimos 50 años: Confort, calidad y eficiencia energética. *El Instalador*, 26-29. http://www.interempresas.net/FlipBooks/IN/554/pdf/IN554_libro.pdf
33. Málaga-Certific, C. E. en. (2020, abril 10). ▷ *ESQUEMA de una Instalación de Aerotermia*. Certific.es; Certificados Energéticos en Málaga - Certific. <https://certific.es/esquema-instalacion-aerotermia.html>
34. Marzo Artigas, X. (2016). Análisis de la influencia del cambio climático en las necesidades de climatización en Andalucía a escala de detalle territorial. (Tesis doctoral inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
35. Méndez-Vigo Carranza, P. (2022). *Vivienda unifamiliar autosuficiente de energía eléctrica, térmica y ACS*. (Trabajo de fin de Máster). Universidad Europea. <https://titula.universidadeuropea.com/handle/20.500.12880/3334>
36. Organización de las Naciones Unidas. (s.f.) *Causas y Efectos del Cambio Climático: Energía en los edificios*. Recuperado el 20 de enero de 2023 de: <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
37. P. Ortega-Arriaga, O. Babacan, J. Nelson, A. Gambhir. (2021). Grid versus off-grid electricity access options: A review on the economic and environmental impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* n°143. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121001581?via%3Dihub>
38. Pérez, A. (2021, April 24). VAN y TIR, dos herramientas para la viabilidad y rentabilidad de una inversión. *OBS Business School*. <https://www.obsbusiness.school/blog/van-y-tir-dos-herramientas-para-la-viabilidad-y-rentabilidad-de-una-inversion>

39. Portero Millán, F. J. *Estudio de una instalación para producción de acs en una vivienda unifamiliar mediante energía solar térmica con apoyo de caldera eléctrica, gasoil y biomasa* [Trabajo de Fin de Grado]. Universitat Jaume I.
40. Quiñones-López, J. (2022). *Estudio de empresas de energía renovable en Andalucía* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad de Jaén.
41. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. («BOE» núm. 207, de 29 de agosto de 2007). Recuperado el 29 de enero de 2023 de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/07/20/1027>
42. Real Decreto 450/2022, de 14 de junio, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. («BOE» núm. 207, de 29 de agosto de 2007). Recuperado el 29 de enero de 2023 de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/06/14/450>
43. Real Reglamento electrotécnico para baja tensión, modificado el 23 de marzo de 2023. Recuperado el 22 de agosto de 2023 de: https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?id=326&modo=2¬a=0
44. Saez, P. (Ed.). (2018). *El instalador* (Vol. 559). 0210/4091.
45. Sánchez Villanueva, A. (2010). *Climatización de una vivienda unifamiliar*. (Trabajo de fin de grado). Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2099.1/10146>
46. [Sánchez Villanueva, A. \(2010, June 17\). Climatización de una vivienda unifamiliar \(Proyecto/Treball Final de Carrera\). UPC, Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona, Departament d'Enginyeria Mecànica. Retrieved from http://hdl.handle.net/2099.1/10146.](http://hdl.handle.net/2099.1/10146)
47. *Todo sobre AEROTERMIA: Preguntas frecuentes*. (2022, octubre 30).
48. Yeguas Bermejo, A. (2016). *Estudio y proyecto de diversas alternativas de climatización para una casa rural*. [Trabajo de Fin de Máster]. Universidad de Valladolid.

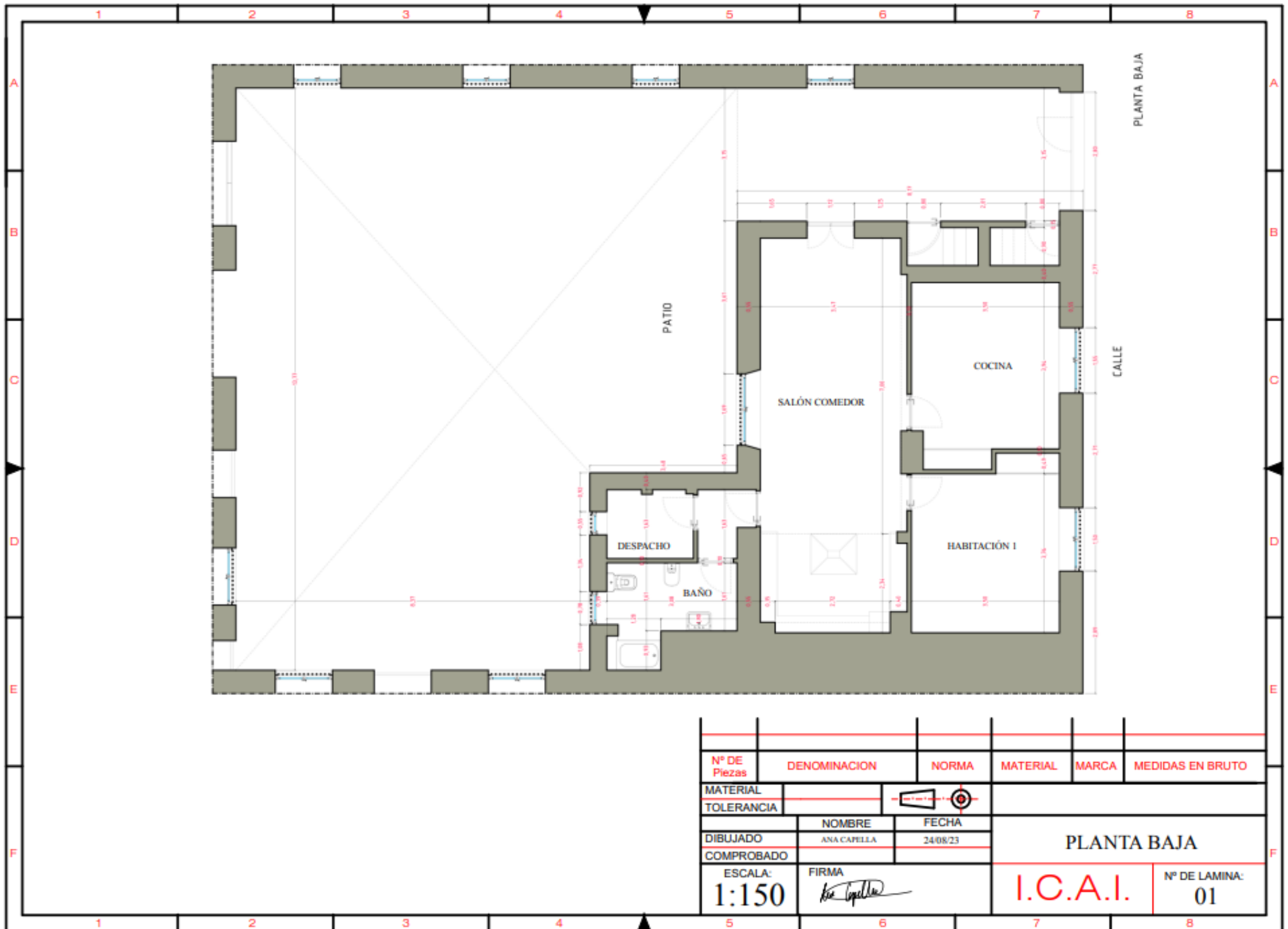
ANEXO I: ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.


En este trabajo se alinea con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible:

- **Energía asequible y no contaminante:** Al ser el cortijo una finca rural, y no estar conectada a la red eléctrica, necesita una instalación energética *off grid*, se diseñará un sistema de climatización alimentado cien por cien por energía renovable, lo que dará lugar a un consumo energético sostenible y limpio que ayuda a la reducción de la huella de carbono.
- **Producción y consumo responsables:** Se estudiará el clima de la región de Campillos, además de las necesidades energéticas de la finca para de esta manera diseñar un sistema de climatización eficiente, y que consuma el mínimo de energía necesaria para su correcto funcionamiento, teniendo así un consumo más responsable y eficiente de los recursos naturales.
- **Acción por el clima:** con una instalación eléctrica fotovoltaica o eólica se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, se reduce la dependencia de las energías fósiles y reduce el consumo de recursos naturales, ayudando a mitigar así el cambio climático.

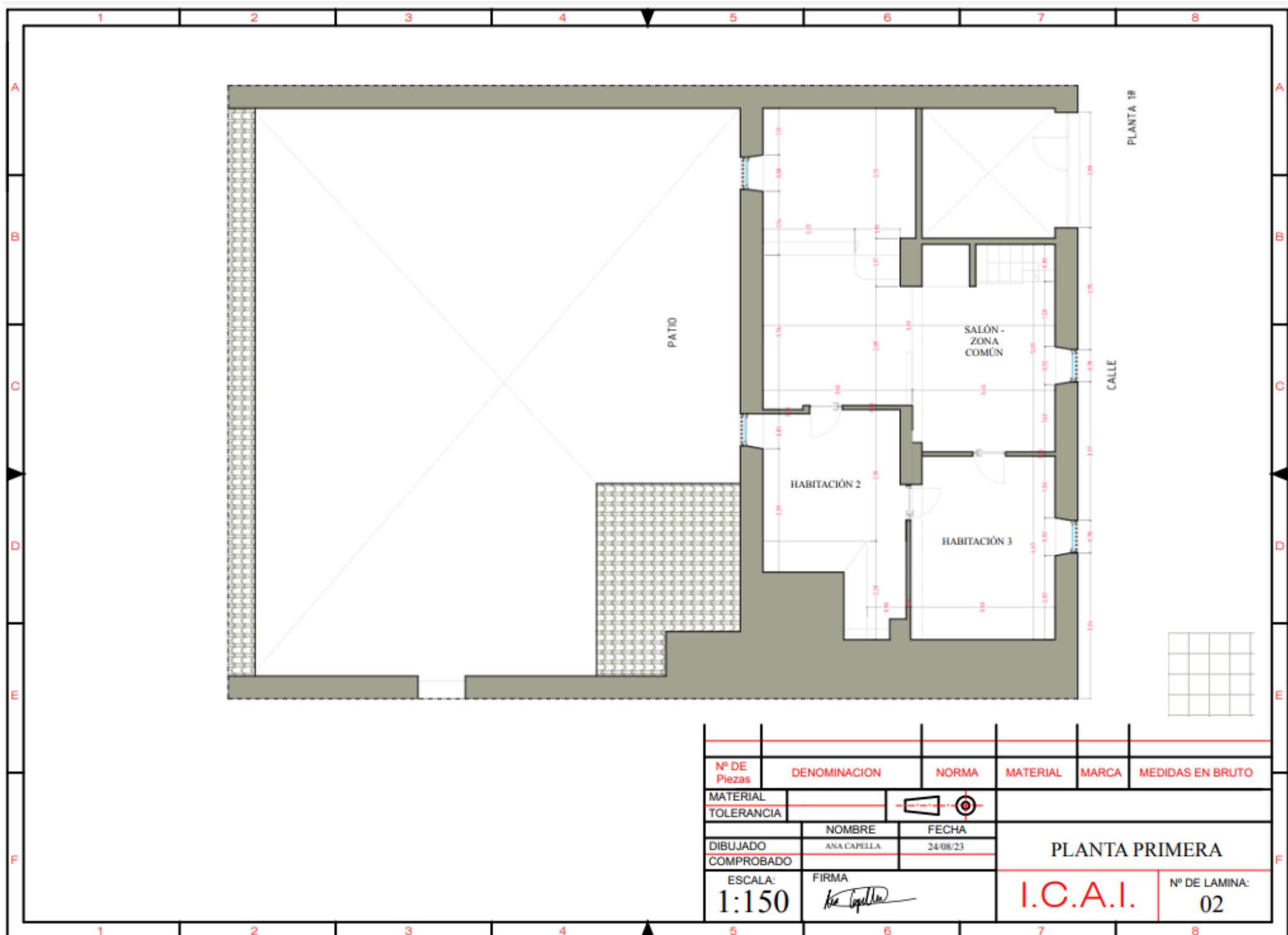
ANEXO II: PLANOS DEL EDIFICIO.



1. *PLANTA BAJA*



Nº DE Piezas	DENOMINACION	NORMA	MATERIAL	MARCA	MEDIDAS EN BRUTO
MATERIAL					
TOLERANCIA					
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PLANTA BAJA		
COMPROBADO	ANA CAPELLA	24/08/23			
ESCALA:	FIRMA	I.C.A.I.			
1:150	<i>Ana Capella</i>				
			Nº DE LAMINA:	01	

1. PLANTA PRIMERA



Nº DE Piezas	DENOMINACION	NORMA	MATERIAL	MARCA	MEDIDAS EN BRUTO
MATERIAL					
TOLERANCIA					
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	PLANTA PRIMERA		
COMPROBADO	ANA CAPELLA	24/08/23			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.		
1:150					

ANEXO III: ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

SELECCIONADOS.

2. BOMBA DE AEROTERMIA VAILLANT

AroTHERM Split plus 8 bomba de calor.

Características	Ud	4	6	8	12	12 400V
Alimentación eléctrica UE		230V/50Hz				400V/50Hz
Eficiencia Energética Calef. 35 °C/55 °C Rango A+++ - D		A+++/A++		A++/A++	A+++/A++	
η_p Calefacción	35 °C	185	175	173	175	
	55 °C	130	135	133	132	
PCA (Potencial Calentamiento Atmosférico)	EN 517/2014	2.088				
CO ₂ equivalente	Por máquina	3,13		4,99	7,52	
Rango de trabajo (mín - máx)	Calefacción	-25 +20				
	ACS	-20 +43				
	Refrigeración	+15 +46				
Potencia Calefacción ¹ (mín - máx) PERMANENTE	A7/W35	2,9-5,6	2,9-7,0	2,8-8,0	5,4-14,0	
	A7/W45	2,6-4,9	2,7-6,7	2,6-7,9	5,1-13,2	
	A7/W55	2,4-4,4	2,4-5,7	3,2-7,4	6,5-14,2	6,5-12,7
COP ²	A7/W35	5,13	4,61	4,57	4,61	
	A7/W45	3,54	3,49	3,57	3,49	
	A7/W55	2,62	2,67	2,69	2,77	
Potencia Refrigeración ¹ (mín - máx) PERMANENTE	A35/W7	1,5-4,3		2,5-6,0	4,3-9,3	
	A35/W18	3,0-4,3		4,5-6,1	6,0-13,0	
EER ²	A35/W7	2,65	2,41	2,32	2,49	
	A35/W18	4,37	3,80	3,58	3,28	
Temperatura máxima sin resistencia eléctrica de apoyo	Calefacción	55				
	ACS	62				
Presión sonora EN 12102, EN ISO 9614-1 a 3m, direct.2	A7/W35	32	34	35	39	
	A35/W18	35		37	40	
Rendimiento en ACS						
uniTOWER split		VWL 68/5 IS		VWL 88/5 IS	VWL 128/5 IS	
Eficiencia Energética ACS ³ Rango A+ - F	Clima cálido	A+				
η_{wh} ACS		179		173	159	
COP ACS EN 16147 (A14) ⁵		4,15		4,16	3,79	
Perfil de carga		L		XL		
Eficiencia Energética ACS ³ Rango A+ - F	Clima medio	A+				
η_{wh} ACS		174		162	147	
COP ACS EN 16147 (A7) ⁵		4,01		3,88	3,49	
Perfil de carga		L		XL		
Eficiencia Energética ACS ³ Rango A+ - F	Clima frío	A+				
η_{wh} ACS		145		149	128	
COP ACS EN 16147 (A2) ⁵		3,11		3,54	3,04	
Perfil de carga		L		XL		
Acumulador de ACS		VIH R 150/6		VIH RW 200		
Eficiencia Energética ACS ⁴ Rango A+ - F	Clima cálido	A+				
η_{wh} ACS		169		177	161	
COP ACS EN 16147 (A14) ⁵		3,95		4,08	3,87	
Perfil de carga		L		XL		
Eficiencia Energética ACS ⁴ Rango A+ - F	Clima medio	A+				
η_{wh} ACS		162		160	145	
COP ACS EN 16147 (A7) ⁵		3,74		3,69	3,47	
Perfil de carga		L		XL		
Eficiencia Energética ACS ⁴ Rango A+ - F	Clima frío	A+		A		
η_{wh} ACS		144		120	114	
COP ACS EN 16147 (A2) ⁵		3,13		2,75	2,74	
Perfil de carga		L		XL		

Ilustración 28: Especificaciones bomba de calor aroTHERM split. Fuente: Vaillant (2023)

Características		Ud	4	6	8	12	12 400V
Rendimiento en calefacción							
Eficiencia estacional Calefacción eta5	Clima cálido W35	%	253		239	212	
	Clima medio W35		185	175	173	175	
	Clima frío W35		155	156		153	
Calefacción SCOP EN 14825	Clima cálido W35		6,40	6,41	6,04	5,37	
	Clima medio W35		4,70	4,44	4,4	4,45	
	Clima frío W35		3,95	4,02	3,96	3,91	
Eficiencia estacional Calefacción eta5	Clima cálido W55	%	156		159	158	
	Clima medio W55		130	135	133		
	Clima frío W55		107	110	117	112	
Calefacción SCOP EN 14825	Clima cálido W55		3,98		4,05	4,03	
	Clima medio W55		3,33	3,46	3,39		
	Clima frío W55		2,76	2,83	3,00	2,86	
Rendimiento en refrigeración							
SEER EN 14825	W7		4,05		4,21	4,57	4,52
Unidad exterior			VWL 45/5 230V S3	VWL 65/5 230V S3	VWL 85/5 230V S3	VWL 125/5 230V S3	VWL 125/5 400V S3
Peso neto		kg	112		126	187	206
Refrigerante			R410A				
Carga de refrigerante		kg	1,5		2,39	3,6	
Dimensiones sin embalaje	Alt./Ancho/Prof	mm	765/1100/450		965/1100/450	1565/1100/450	
Caudal bomba de calefacción		l/h	540	790	1020	1850	
Presión disponible		kPa	71	70	68	50	
Caudal máximo de ventilación		m ³ /h	2.300			5.100	
Conexiones frigoríficas		"	1/4-1/2		3/8-5/8		
Distancia entre UI-UE (mín-máx)		m	3-40				
Altura máxima entre UI-UE (UE sobre UI)		m	30				
Corriente máxima		A	11,5		15,0	21,3	13,5
Potencia sonora EN 12102	A7W35	dB(A)	51	53	54	58	
	Modo silencioso		46		48	53	55
	ErP A7/W55		53	54		60	
Unidad interior - unitOWER split			VWL 68/5 IS		VWL 88/5 IS	VWL 128/5 IS	
Alimentación eléctrica			230V/50 Hz				400V/50 Hz
Dimensiones sin embalaje	Alt./Ancho/Prof	mm	1880/595/693				
Peso neto		kg	158	159	160		
Volumen equivalente agua a 40 °C	Acumul. 70 °C entrada 10 °C	l	370				
Volumen acumulación ACS		l	185	188	185		
Tiempo de calentamiento a temperatura nominal	EN 16147	min	152	105		68	
Máx. presión circuito calef.		bar	3				
Potencia sonora EN 12102	A7W35	dB(A)	41		43	45	
Conexiones hidráulicas	ACS	"	G 3/4				
	Circuito calef./refrig.		G 1				
Unidad interior - módulo hidráulico			WL 67/5 IS		VWL 87/5 IS	VWL 127/5 IS	
Alimentación eléctrica			230-400V/50 Hz				
Dimensiones sin embalaje	Alt./Ancho/Prof	mm	720/440/350				
Peso neto		kg	23	24			
Máx. presión circuito calef.		bar	3				
Conexiones hidráulicas	ACS	"	G 1				
	Circuito calef./refrig.		G 1				

Nota: Datos de producto seleccionados de cada modelo.

Ilustración 29: Especificaciones bomba de calor aroTHERM split. Fuente: Vaillant (2023)

3. FAN-COILS DE CONDUCTOS VAILLANT

VA 1-040 DN Y VA 1-060 DN

Modelo	Velocidad	Ud	VA 1-020 DN	VA 1-040 DN	VA 1-060 DN	VA 1-090 DN	VA 1-110 DN	
Ventilación ¹	Máx./Med./Mín.	m ³ /h	411/273/205	734/564/389	1.022/760/544	1.824/1.332/906	2.134/1.581/1.083	
Refrigeración ²	Capacidad	kW	2,35/1,72/1,32	3,99/3,26/2,50	5,85/4,82/3,78	8,96/7,37/5,66	10,79/8,86/6,79	
	Capacidad sensible	kW	1,75	3,10	4,49	7,33	8,84	
	Capacidad latente	Máx./Med./Mín.	kW	0,60	0,89	1,36	1,63	1,95
	Caudal	l/h	430	690	1.050	1.590	1.930	
	Pérdida de presión	kPa	13,6	13	31,4	24,1	26,3	
Calefacción ³	Capacidad	Máx./Med./Mín.	kW	2,68/1,99/1,42	4,7/3,85/2,77	6,62/5,38/4,00	10,74/8,55/6,35	12,62/10,15/7,47
	Pérdida de presión	kPa	12,6	13	31,7	28,3	29,4	
Consumo		W	16	28	45	90	110	
Presión sonora ⁴	Máx./Med./Mín.	dB(A)	38,1/28,4/23,4	38,4/32,2/24,0	46,1/39,0/30,3	47,8/40,7/30,7	48,9/41,8/31,7	
			36,8/26,0/21,8	37,0/30,8/23,8	45,0/37,9/29,3	46,9/39,4/29,5	47,4/40,5/30,5	
			41,7/32,5/24,9	43,1/36,1/27,7	47,7/39,8/30,7	46,9/39,4/30,7	49,4/41,8/33,5	
			43,7/34,2/25,4	46,1/39,0/31,5	49,3/41,8/32,8	48,9/41,7/33,1	52,3/44,8/37,3	
Motor del ventilador			1 DC Motor			2 DC Motors		
Número de ventiladores			1	2	4			
Dimensiones	An. x ALT. x Prof.	mm	741x241x522	941x241x522	1.161x241x522	1.566x241x522	1.856x241x522	
Peso neto		kg	16,7	21,0	23,7	34,7	39,2	
Batería	Filas		3					
	Presión de trabajo	Máxima	MPa					1,6
	Diámetro		mm					9,52
Tubería de entrada / salida de agua		Pulgada	RC3/4					
Diámetro de tubería de desagüe		mm	OD24					
Referencia			0010022145	0010022146	0010022147	0010022148	000022149	

(1) Caudales mostrados a presión 0 Pa y curva de presión 12Pa.

(2) Condiciones de refrigeración: entrada de agua a 7°C, salto a 5°C. 27°C de bulbo seco y 19°C de bulbo húmedo.

(3) Condiciones de calefacción: entrada de agua a 45°C, salto a 5°C. 20°C de bulbo seco y mismo caudal de agua que en condiciones de refrigeración.

(4) Ensayado en sala de pruebas semianecoica conforme a EN 16583

Ilustración 30: Características fan-coils Vaillant. Fuente: Vaillant (2023)

4. SISTEMA FOTOVOLTAICO VAILLANT

Inversor VP 4000|2.

Características	Ud	VPV I 1500/2	VPV I 2000/2	VPV I 2500/2	VPV I 3000/2	VPV I 4000/2
Entrada DC						
Nº entradas (MPP tracker*)		1				2
Tensión máx. entrada	V	450			750	
Rango tensión MPP	V	75... 360			125... 600	150... 600
Corriente máx. entrada	A	13				
Salida AC						
Potencia nom. salida	W	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Potencia máx. aparente	VA	1.500	2.000	2.500	3.000	4.000
Tensión salida nominal	V	230				
Rango frecuencia salida	Hz	45-65				
Corriente nom. salida	A	7				
Corriente máx. salida	A	<12		<14		<16
Eficiencia						
Eficiencia máxima	%	97,4			97,0	
Eficiencia europea	%	96,1	96,5	96,6	96,3	
Eficiencia MPP	%	>99,0 dinámica; >99,7 estática				
Consumo Stand-by	W	<20				
Seguridad						
Clase protección		IP65				
Temperatura ambiente	°C	-25 ... 60				
Humedad relativa	%	0 ... 100				
Emisión sonora	dB(A)	31				
Conexiones		Modbus RTU (1xRJ45) / Ethernet (1xRJ45) / RS485 bus (1xRJ45)				
Esp. mecánicas						
Instalación		Sobre pared interna / externa, kit de montaje incluido				
Dim. (alt./ancho/prof.)	mm	657 / 399 / 222				
Peso	kg					
Referencia		0010024747	0010024748	0010024749	0010024750	0010024751

(*) MPP: Maximum Power Point. Punto de trabajo en el que se genera la máxima potencia eléctrica posible.

Ilustración 31: Características inversor Vaillant. Fuente: Vaillant (2023)

Módulos fotovoltaicos.

Características	Ud	VPV P 400/6 BWF
Especificaciones eléctricas		
Potencia nominal (PMPP)	Wp	400
Tolerancia en potencia	W	0.../4,99
Tensión nominal (VMPP)	V	31,14
Corriente nominal (IMPP)	A	12,84
Tensión en circuito abierto (VOC)	V	37,08
Corriente de cortocircuito (ISC)	A	13,46
Eficiencia	%	20,0
Temperatura NOCT	°C	44,5
Coefficiente de temperatura		
Potencia (PNOM)	%/°C	-0,34
Tensión (VOC)	%/°C	-0,26
Corriente (ISC)	%/°C	0,03
Tensión máxima sistema	V	1.000
Corriente máxima retorno	A	25
Especificaciones mecánicas		
Dimensiones	mm	1144 x 1752 x 40
Peso	Kg	22
Máxima carga (presión)	Pa	5.400
Máxima carga (succión)	Pa	2.400
Material del perfil		Aluminio
Color del perfil		Negro
Color del fondo		Blanco
Espesor del marco	mm	40
Células por módulo		108 semi-células
Tipo de células		Monocristalinas PERC
Conexiones		Caja de conexiones con 3 diodos bypass, cable de 4 mm ² y conectores MC4 Longitud del cable: 1.200 mm (+) y 1.200 mm (-)
Referencia		0010040119

Ilustración 32: Características módulos Vaillant. Fuente: Vaillant (2023)

