



TRABAJO FIN DE GRADO

“Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos para cubrir aplicaciones térmicas domésticas”

“Design of photovoltaic systems to cover domestic thermal applications”

Autor:

Isaac Tena Ibáñez

Director:

Ángel Antonio Bayod Rújula

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2020

Resumen

Este trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal el dimensionamiento de un sistema de energía fotovoltaica de conexión a red para el abastecimiento de electricidad demandada por una vivienda unifamiliar de una planta derivado de las cargas térmicas más influyentes presentes en esta.

El proyecto pretende no limitarse exclusivamente al propio dimensionamiento del sistema fotovoltaico, sino que abarca también el estudio y cálculo de las diversas cargas térmicas a tener en cuenta.

El análisis de estas cargas térmicas también lo haremos desde la base. Dimensionaremos nosotros mismos el tipo de termo eléctrico y frigorífico requerido para cubrir las necesidades de una familia de cuatro personas, buscando en el mercado el modelo más adecuado. Lo mismo sucederá con el sistema de calefacción-refrigeración, el cual estará adaptado para el diseño de vivienda realizado.

Posteriormente procederemos al cálculo manual de las cargas térmicas derivadas de cada uno de los tres elementos comentados. Durante el estudio, observaremos la multitud de factores que intervienen en el cálculo final (condiciones climáticas, dimensiones, materiales, etc.) debiendo recurrir además a la consulta de numerosas bases de datos y fichas técnicas.

Una vez obtenido el valor total de cargas térmicas, y traducido a energía eléctrica a cubrir, procedemos al dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Este dimensionamiento se inicia con la elección de la disposición (inclinación, azimut) más adecuada para nuestros módulos fotovoltaicos, a partir de lo cual podremos determinar la potencia del sistema a instalar.

Una vez sabido esto, realizamos la búsqueda en el mercado, y su selección acorde a las características de nuestro sistema, de los diversos componentes de los que debe constar este. Desde los propios módulos o el inversor, de vital importancia, hasta los elementos de protección.

Como parte final del dimensionamiento, considerando nuestro sistema sujeto al mecanismo de compensación simplificada, valoraremos el tamaño de baterías más adecuado y rentable en términos económicos. Para ello, en una visión general, enfrentaremos en un Excel los valores de energía eléctrica producida y demandada en términos horarios para un día tipo de cada mes.

Para concluir, llevaremos a cabo un estudio económico en el que analizaremos la idoneidad de la instalación de baterías respecto al sistema dimensionado inicialmente sin almacenamiento, y determinando así, en el caso de que efectivamente resultase rentable la instalación del sistema fotovoltaico, cuál de los dos sería más apropiado.

Summary

The main objective of this end-of-degree project is to design a grid-connected photovoltaic energy system to cover the electricity supply of a one-storey house due to domestic thermal applications.

This project not only pretends to focus on the photovoltaic system design itself, but also includes the study and calculation of the different thermal loads to bear in mind.

The analysis of these thermal loads will be also done from the basis. We will design ourselves the kind of electric water heater and fridge required to cover the needs of a four-member family, looking for the most suitable model in the market. The same will happen with the heating and cooling system, which will be adapted to the design of our house.

Then, we will continue with the manual calculation of the thermal loads due to each of the mentioned items. During this study, we will notice the wide range of factors involved in the final calculation (weather conditions, dimensions, materials, etc.) having also to resort to various databases and technical guides.

Once the total value of the thermal loads has been obtained, and translated into the electrical energy to be covered, we will proceed to size the photovoltaic system.

This sizing starts with the choice of the most suitable setup (inclination, azimuth) for our photovoltaic module model. Then, we will be able to determine the peak power of the system to be installed.

Once this is done, we do the market research and selection of the different items to be included according to our system characteristics. From the modules themselves, the inverter (with greater importance), to the protective elements.

As a final part of the design, we will consider the simplified compensatory mechanism, assessing the most appropriate and cost-effective battery size. To do this, we will face in an Excel the values of the electrical energy produced and consumed per hours for a typical day of each month.

To conclude, we will carry out an economic study in which we will analyze the adequacy of the battery installation in comparison with the system initially designed without batteries. And finally, if the installation of a photovoltaic system is really profitable, we will determine which of the two options is the most appropriate.

Índice

1.	Introducción	10
2.	Cargas térmicas	11
2.1.	Termo eléctrico	11
2.1.1.	Introducción	11
2.1.2.	Condiciones del estudio	12
2.1.2.1.	Temperaturas	12
2.1.2.2.	Consumo de ACS	12
2.1.2.3.	Modelo de calentador eléctrico	12
2.1.2.4.	Materiales	13
2.1.2.5.	Dimensiones	13
2.1.3.	Cargas térmicas	14
2.1.3.1.	Carga térmica debido al calentamiento del agua	14
2.1.3.2.	Carga térmica debido al aislamiento	16
2.1.4.	Consumo eléctrico del termo	18
2.2.	Frigorífico	19
2.2.1.	Introducción	19
2.2.2.	Funcionamiento	19
2.2.3.	Condiciones del estudio	20
2.2.3.1.	Ambiente	20
2.2.3.2.	Modelo	20
2.2.3.3.	Dimensiones	21
2.2.3.4.	Materiales	22
2.2.4.	Cargas térmicas	24
2.2.4.1.	Carga térmica debida al aislamiento de paredes y juntas de las puertas	25
2.2.4.2.	Carga térmica debido al producto	27
2.2.4.3.	Carga térmica debido a la apertura de puerta	29
2.2.5.	Consumo eléctrico del frigorífico	32
2.3.	Bomba de calor	33
2.3.1.	Introducción	33
2.3.2.	Condiciones del estudio	35
2.3.2.1.	Climáticas	35

2.3.2.2.	Diseño y dimensiones de la vivienda	36
2.3.2.3.	Materiales de construcción.....	37
2.3.3.	Cargas térmicas	40
2.3.3.1.	Cargas por radiación solar a través de ventanas.....	41
2.3.3.2.	Cargas por transmisión a través de paredes y ventanas	43
2.3.3.3.	Carga por infiltraciones de aire	45
2.3.3.4.	Carga por ocupación	46
2.3.3.5.	Carga por iluminación	48
2.3.3.6.	Carga por otros aparatos eléctricos	49
2.3.4.	Consumo eléctrico de la bomba de calor.....	50
2.4.	Consumo eléctrico total por cargas térmicas	51
3.	Dimensionamiento fotovoltaico	52
3.1.	Esquema de la instalación	52
3.2.	Orientación/Inclinación – Potencia a instalar	53
3.3.	Inversor	57
3.4.	Contador.....	58
3.5.	Módulos FV.....	59
3.5.1.	Módulo de tipo policristalino.....	59
3.5.2.	Módulo de tipo monocristalino	62
3.6.	Distribución física	64
3.7.	Protecciones	67
3.8.	Baterías.....	71
3.8.1.	Modelización consumo-producción por horas	71
3.8.2.	Dimensionamiento de baterías.....	76
3.8.3.	Análisis económico – Mecanismo de compensación simplificada -con baterías	81
3.8.4.	Resultados -con baterías.....	85
3.9.	Análisis de viabilidad económica del proyecto	88
4.	Conclusiones	90
5.	Bibliografía.....	91
Anexo I	96
Anexo II	98
Anexo III	100
Anexo IV	102

Índice de figuras

Figura 1. Esquema termo eléctrico. Fuente: Cointra.es.	11
Figura 2. Medidas del calderín. Fuente: Elaboración propia (Software: Solid Edge).	13
Figura 3. Ciclo de refrigeración del frigorífico. Fuente: Wikipedia.	19
Figura 4. Frigorífico LG GR3891SQA. Fuente: LG.com	20
Figura 5. Dimensiones del frigorífico. Fuente: Elaboración propia (Software: AutoCad)	21
Figura 6. Capas de la pared. Frigorífico. Fuente:[10].....	23
Figura 7. Funcionamiento de la bomba de calor. Fuente: caloryfrio.com	33
Figura 8. Materiales por capas en la fachada de la vivienda. Fuente: Isover.....	38
Figura 9. Esquema de instalación fotovoltaica conectada a red. Fuente: autoaolar.es.....	52
Figura 10. Configuración software PVGIS. Producción de instalación fotovoltaica de conexión a red. Fuente: PVGIS.....	53
Figura 11. Inversor Fronius Primo Gen24 Plus. Fuente: Ficha técnica.	57
Figura 12. Esquema Fronius Smart Meter. Fuente: Ficha técnica.	58
Figura 13. Módulo monocristalino AS-5M. Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 14. Dimensiones del modulo AS-5M. Fuente: Ficha técnica.....	64
Figura 15. Vivienda. Fuente: Elaboración propia (Software: SolidEdge).....	65
Figura 16. Perfil de la vivienda. Fuente: Elaboración propia (Software: SolidEdge).	65
Figura 17. Planta de la vivienda. Fuente: Elaboración propia (Software: SolidEdge).....	66
Figura 18. Interruptor magnetotérmico ABB SH202-C20. Fuente: ABB.com.....	67
Figura 19. Interruptor diferencial 2P-300mA-Clase AC Maxge. Fuente: EfectoLED.com.....	68
Figura 20. Protector CS21-15 de Cirprotec. Fuente: Eriacomponentes.es.	68
Figura 21. Interruptor magnetotérmico Schneider A9N61531. Fuente: SE.com.	69
Figura 22. Protector atmosférico Vykie. Fuente: Amazon.com.	69
Figura 23. Caja para cuadro eléctrico Famatel Acqua. Fuente: LeroyMerlin.	70
Figura 24. Configuración software PVGIS. Radiación solar diaria. Fuente: PVGIS.	72
Figura 25. Modelo batería Ultracell 2640 Wh. Fuente: Autosolar.es	82
Figura 26. Modelo batería Ultracell 5520 Wh. Fuente: Autosolar.es	83
Figura 27. Modelo batería Ultracell 6624 Wh. Fuente: Autosolar.es	83

Índice de tablas

Tabla 1. Temperatura del agua de red. Fuente: IDAE.....	12
Tabla 2. Datos carga térmica por calentamiento del agua. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	15
Tabla 3. Carga térmica por calentamiento del agua. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	15
Tabla 4. Datos carga térmica por aislamiento. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	17
Tabla 5. Consumo eléctrico. Termo Eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 6. Datos carga térmica aislamiento. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 7. Carga térmica por aislamiento. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.....	26
Tabla 8. Datos carga térmica producto. Frigorífico. Fuente: herramientasingeniería.com	28
Tabla 9. Carga térmica por producto. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.....	28
Tabla 10. Datos aire interno del frigorífico. Fuente: herramientasingeniería.com.....	30
Tabla 11. Datos aire interno congelador. Fuente: herramientasingeniería.com	30
Tabla 12. Carga térmica por aperturas de puerta. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.	30
Tabla 13. Temperatura exterior en Zaragoza. Fuente climate-data.	35
Tabla 14. Humedad relativa del aire en Zaragoza. Fuente Weather-Atlas.	35
Tabla 15. Temperatura interior de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 16. Dimensiones de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 17. Especificaciones para las ventanas. Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 18. Superficies externas de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 19. Transmitancias térmicas de las ventanas. Fuente: CTE.....	37
Tabla 20. Espesor y conductividad térmica en la fachada de la vivienda. Fuente: CTE.	39
Tabla 21. Radiación solar incidente en la vivienda. Fuente: Elaboración propia.	42
Tabla 22. Carga térmica por radiación solar. Vivienda. Fuente: Elaboración propia.	42
Tabla 23. Carga térmica por transmisión. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 24. Carga térmica por infiltraciones. Vivienda. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 25. Carga térmica por infiltraciones. Vivienda. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 26. Calor latente y sensible por actividad metabólica de las personas. Fuente: IDAE.	47
Tabla 27. Promedio carga térmica por ocupación.....	47
Tabla 28. Carga térmica por ocupación.....	47
Tabla 29. Carga térmica total en la vivienda. Bomba de calor. Fuente: Elaboración propia.....	49
Tabla 30. Consumo eléctrico de la bomba de calor. Fuente: Elaboración propia.....	50
Tabla 31. Consumo eléctrico total por cargas térmicas. Fuente: Elaboración propia.....	51
Tabla 32. Producción eléctrica para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 33. Potencia pico de la instalación requerida para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 34. Producción eléctrica para potencia pico concreta para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 35. Balance de energía diario para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.	56
Tabla 36. Consumo eléctrico por horas para cada mes. Fuente: Elaboración propia.	71
Tabla 37. Producción eléctrica por horas para el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 38. Producción eléctrica por horas para cada mes. Fuente: Elaboración propia.	74

Tabla 39. Producción eléctrica mensual y anual. Fuente: Elaboración propia.....	74
Tabla 40. Sizing factor para cada mes. Fuente: Elaboración propia.	75
Tabla 41. Balance energético por horas sin sistema de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.	76
Tabla 42. Balance energía eléctrica diario para cada mes. Fuente: Elaboración propia.	77
Tabla 43. Balance de energía eléctrica mensual y anual. Fuente: Elaboración propia.	77
Tabla 44. Tamaño de baterías para diferentes valores de autonomía. Fuente: Elaboración propia.	79
Tabla 45. Ejemplo de modelo de simulación de sistema FV con almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.	79
Tabla 46. Resumen de resultados para diferentes tamaños de batería. Fuente: Elaboración propia. ..	80
Tabla 47. Balance económico para diferentes tamaños de batería. Fuente: Elaboración propia.....	82
Tabla 48. Precio conjunto diferentes modelos de baterías. Fuente: Elaboración propia.	83
Tabla 49. Resultados mensuales y anuales para tamaño de baterías de 5,52 kWh. Fuente: Elaboración propia.	85
Tabla 50. Flujos de carga por horas para sistema FV con 5,52 kWh de baterías en septiembre. Fuente: Elaboración propia.	87
Tabla 51. Flujos de carga diarios para sistema FV con 5,52 kWh de baterías en septiembre. Fuente: Elaboración propia.	87
Tabla 52. Coste total de la instalación fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia.	88
Tabla 53. Balance económico para sistema FV sin almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.....	89
Tabla 54. Coste final de cada tipo de instalación. Fuente: Elaboración propia.	89

Índice de gráficas

Gráfica 1. Consumo eléctrico. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.	18
Gráfica 2. Distribución de las cargas térmicas. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.	24
Gráfica 3. Distribución práctica cargas térmicas. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.	31
Gráfica 4. Consumo eléctrico de la bomba de calor. Fuente: Elaboración propia.	50
Gráfica 5. Producción anual para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.	54
Gráfica 6. Producción diaria para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.	55
Gráfica 7. Producción vs Demanda para cada mes. Fuente: Elaboración propia.	75
Gráfica 8. Generación vs Demanda por horas para el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.	76
Gráfica 9. Generación vs Demanda por horas para el mes de mayo. Fuente: Elaboración propia.	77
Gráfica 10. Generación vs Demanda por horas para el mes de septiembre. Fuente: Elaboración propia.	77
Gráfica 11. Balance de energía por horas para batería de 5,52 kWh para el mes de septiembre. Fuente: Elaboración propia.	85
Gráfica 12. Balance de energía por horas para batería de 5,52 kWh para el mes mayo. Fuente: Elaboración propia.	86
Gráfica 13. Balance de energía por horas para batería de 5,52 kWh para el mes de agosto. Fuente: Elaboración propia.	86
Gráfica 14. Balance de energía por horas para 3 días consecutivos de septiembre. Fuente: Elaboración propia.	87
Gráfica 15. Porcentaje de carga de la batería por horas para 3 días consecutivos de septiembre. Fuente: Elaboración propia.	87

1. Introducción

Desde hace varias décadas, y muy fervientemente en la actualidad, se viene produciendo el enfrentamiento entre uno de los pilares básicos del “funcionamiento” de nuestra sociedad, que es la energía eléctrica, y la creciente preocupación por la preservación del medio ambiente. En aras de ello, se está popularizando el uso de las denominadas energías verdes frente a aquellas fuentes de energía convencionales (carbón, nuclear, etc.) que suponen un claro perjuicio en forma de contaminación para nuestro ecosistema.

Estas energías verdes, o mejor conocidas como fuentes de energía renovable, suponen una evidente mejora en forma de reducción de efectos perjudiciales sobre el medio ambiente. Estamos hablando por ejemplo de la energía eólica, la energía geotérmica o la energía solar.

Paralelamente al aspecto ambiental, aparece uno bastante más discutido, el aspecto económico. Se tratan de tecnologías en continuo desarrollo que, si bien es cierto, han experimentado un enorme evolución en las dos últimas décadas, lo cual ha conseguido abaratar sustancialmente el coste de las instalaciones, tienen por delante todavía un muy amplio margen de crecimiento, además de enfrentarse a la legislación de cada país, que en algunos casos supone verdaderas trabas que dificultan la rentabilidad de estas fuentes de energía renovables. [1]

Nuestro trabajo va a consistir en analizar para el caso de la energía solar, la instalación de un sistema de módulos fotovoltaicos en la modalidad de conexión a red, para cubrir la demanda eléctrica por aplicaciones térmicas de una vivienda unifamiliar de una planta. Esto lo llevaremos a cabo, tanto desde el punto de vista técnico, como desde el punto de vista económico y legal, considerando el mecanismo de compensación simplificada.

Previamente a ello, el otro bloque de nuestro trabajo se centra en el dimensionamiento y cálculo en detalle de las propias cargas térmicas. En concreto de las debidas al termo eléctrico, el frigorífico y la bomba de calor, que aglutinan gran parte del consumo eléctrico de la vivienda. Con ello, obtendremos la demanda energética a cubrir por el sistema fotovoltaico.

2. Cargas térmicas

2.1. Termo eléctrico

2.1.1. Introducción

Uno de los elementos domésticos con gran consumo eléctrico si no el mayor, debido a las cargas térmicas que este ha de vencer, es el calentador eléctrico o termo.

Permite calentar agua proveniente de la instalación del edificio a la que llamaremos agua de red, convirtiéndola en la denominada ACS (agua caliente sanitaria) destinada a al consumo humano.

Su funcionamiento es relativamente sencillo. Se basta de un depósito llamado calderín con una resistencia eléctrica para la que podemos suponer un rendimiento energético del 100%, es decir, toda la potencia eléctrica que recibe la convierte en calor.

El agua de red entra por la parte inferior, y al calentarse mediante la resistencia eléctrica, esta asciende dentro del calderín, dado que la densidad del agua se reduce con la temperatura. Es por ello que la toma de agua caliente parte de la zona superior del depósito.

En esta parte del estudio, deberemos analizar por tanto las diversas cargas térmicas que intervienen en el funcionamiento del calentador, y traducirlo en la energía eléctrica diaria que ha de consumir este a través de la resistencia eléctrica.

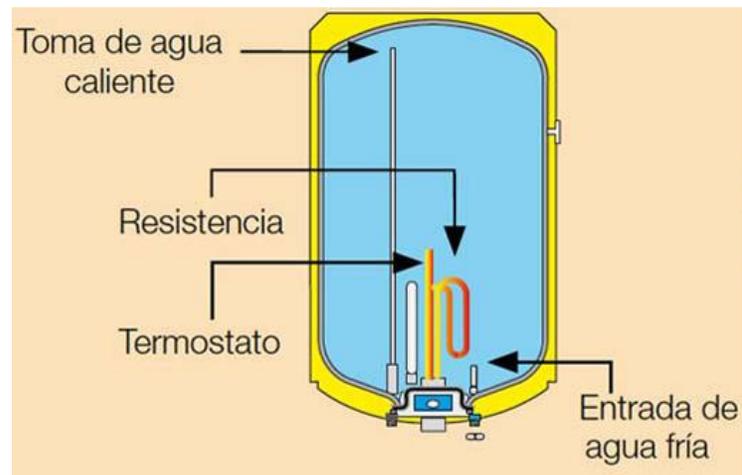


Figura 1. Esquema termo eléctrico. Fuente: Cointra.es.

2.1.2. Condiciones del estudio

2.1.2.1. Temperaturas

Hemos de tener en cuenta 3 datos independientes:

- La temperatura de salida del ACS: 65 °C (próximo al valor máximo de 70 °C que suelen permitir alcanzar los termos domésticos).
- La temperatura del aire en la vivienda: consideramos 20° C constantes todo el año para ésta parte del estudio.
- La temperatura de entrada del agua de red, la cual sí variará en función de la época del año. Consultamos la temperatura del agua en Zaragoza por meses, para así obtener un estudio más detallado.

Mes	T (°C)
Enero	8
Febrero	9
Marzo	10
Abril	12
Mayo	15
Junio	17
Julio	20
Agosto	19
Septiembre	17
Octubre	14
Noviembre	10
Diciembre	8

Tabla 1. Temperatura del agua de red. Fuente: IDAE.

2.1.2.2. Consumo de ACS

Debemos conocer cuál es el consumo diario de agua de red requerido para el calentador eléctrico (litros/día). Considerando a partir de diversas bases de datos, una media de consumo ACS en viviendas de 30 L/persona.día, para nuestro caso de estudio de vivienda con cuatro personas, el consumo ACS diario será de 120 L/día. [2]

2.1.2.3. Modelo de calentador eléctrico

Teniendo en cuenta principalmente el dato del consumo de agua requerido por el calentador eléctrico, conviene buscar en el mercado un modelo adecuado el cual usar como referencia y así conocer también las dimensiones del depósito o los materiales que lo componen.

Siendo la recomendación de los fabricantes para familias de cuatro miembros, depósitos de entre 100 y 150 L, hemos elegido el modelo Bosch Tronic 6000T en su variante de 120 L de capacidad, coincidente precisamente con la demanda media diaria de agua ACS de nuestro caso. [3]

2.1.2.4. Materiales

Para el caso de cálculo de las cargas térmicas, lo principal será analizar las tres capas que componen la parte del depósito.

- La capa externa suele ser de chapa de acero con diferentes acabados.
- La capa intermedia, y la más importante dado su papel de aislante, es poliuretano libre de CFC, el cual es un agente espesor altamente contaminante.
- La capa interna está hecha en acero vitrificado, que lo dota de una alta protección anticorrosiva.

La única capa a tener en cuenta para posteriores cálculos será la del poliuretano. Dado que es la de mayor espesor (30 mm en cada una de las caras del cilindro) y la que tiene un menor coeficiente de conductividad (0,025 W/mK).

2.1.2.5. Dimensiones

Únicamente se nos proporcionan en la ficha técnica las medidas externas (incluyendo manguitos, display electrónico, etc.): 486 mm de ancho por 1110 mm de alto.

Sin embargo, conociendo el volumen interno de 120 L y el espesor de aislante de 30 mm podemos estimar unas medidas aproximadas, considerando el depósito un cilindro de 870 mm de alto y 210 mm de radio en su parte interna. Y 940 mm de alto y 243 mm de radio en su parte externa.

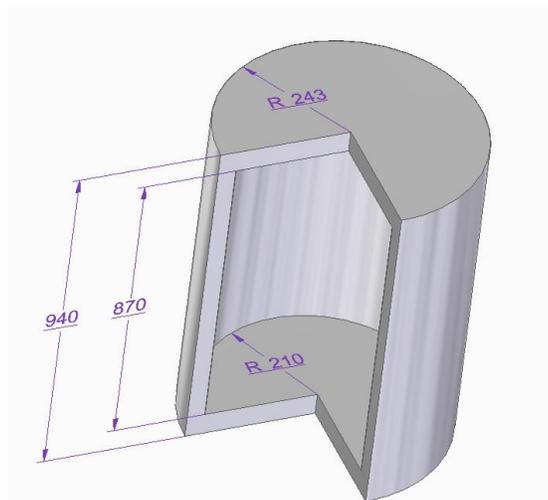


Figura 2. Medidas del calderín. Fuente: Elaboración propia (Software: Solid Edge).

2.1.3. Cargas térmicas

Podemos reducir el número de cargas térmicas a las que tiene que vencer la resistencia eléctrica a dos.

Por una parte, la mayor demanda térmica vendrá dada por la necesidad de calentar el volumen diario de agua de red consumido, desde su temperatura de entrada hasta los 65 °C de salida.

Por otra parte, la carga térmica también estará marcada por las pérdidas de calor que se producen desde el interior al exterior a través de las paredes del depósito y para lo cual es relevante el papel del aislamiento. Se podría expresar también como la carga térmica debida al mantenimiento constante de la temperatura del ACS que permanece almacenada en el calderín.

$$Q_{termo} = Q_{calentamiento} + Q_{aislante}$$

2.1.3.1. Carga térmica debido al calentamiento del agua

Utilizaremos la fórmula de cálculo de potencia requerida para el aumento de la temperatura de un fluido.

$$Q_{calentamiento} = m \times C_e \times (T_{ACS} - T_{red})$$

Siendo:

m el caudal másico diario de agua ($Kg/día$)

C_e el calor específico del agua ($J/Kg^{\circ}C$)

T_{ACS} la temperatura de salida del agua ($^{\circ}C$)

T_{red} la temperatura de entrada del agua ($^{\circ}C$)

Considerando que $m = V \times \rho$, siendo:

V el caudal volumétrico diario de agua ($L/día$)

ρ la densidad del agua (Kg/L)

Nos queda la fórmula:

$$Q_{calentamiento} = V \times \rho \times C_e \times (T_{ACS} - T_{red})$$

Recopilamos los datos necesarios:

DATOS	
Volumen	120 L/día
Densidad	1 Kg/L
Calor específico	4189 J/Kg°C
Tª ACS	65 °C

Tabla 2. Datos carga térmica por calentamiento del agua. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Aplicado a los diferentes meses del año, nos quedan las siguientes cargas térmicas:

Mes	V (L/día)	Densidad (Kg/L)	Calor específico (J/Kg°C)	Tª ACS	Tª Red	Tª ACS - Tª Red	J->kWh	Q (kWh/día)
Enero	120	1	4180	65	8	57	2,78E-07	7,94
Febrero					9	56		7,80
Marzo					10	55		7,66
Abril					12	53		7,38
Mayo					15	50		6,97
Junio					17	48		6,69
Julio					20	45		6,27
Agosto					19	46		6,41
Septiembre					17	48		6,69
Octubre					14	51		7,11
Noviembre					10	55		7,66
Diciembre					8	57		7,94

Tabla 3. Carga térmica por calentamiento del agua. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Observamos que el principal factor (dejando a un lado el volumen de consumo) del que depende esta carga térmica son las temperaturas de entrada y salida.

Es por ello que, en los meses de enero y diciembre, donde el agua de red entra a menor temperatura, la energía necesaria para calentar ésta es mayor.

En nuestro caso, hemos establecido que la temperatura de salida del ACS sea 65°C, se podría reajustar mínimamente hasta 60°C para así poder lograr cierto ahorro energético. Aunque un ajuste algo mayor, hasta 45°C por ejemplo, implicaría que el consumo de agua se incrementase correspondientemente, siendo la carga térmica la misma.

2.1.3.2. Carga térmica debido al aislamiento

Para las pérdidas térmicas del calderín intervienen múltiples factores. Por una parte, la convección que se produce entre el agua y las paredes interiores del depósito, y la que se produce entre el aire y la pared externa del termo. Por otra parte, debemos tener en cuenta las pérdidas por conducción a través de las tres capas que conforman las paredes del depósito.

Sin embargo, para la realización de los cálculos, tendremos en cuenta únicamente la influencia de la convección externa del aire y la conducción de la capa de poliuretano. Además, dado que la fórmula de la resistencia térmica de conducción varía según el tipo de superficie a atravesar, calcularemos por separado las pérdidas en la zona cilíndrica y en las “tapas” superior e inferior.

$$Q_{\text{aislamiento}} = Q_{\text{aisl-cilindro}} + 2Q_{\text{aisl-tapa}}$$

Para el cilindro:

$$Q_{\text{aisl-cilindro}} = \frac{T_{\text{ACS}} - T_{\text{ambiente}}}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{aire}} \times A} + \frac{\text{Ln}(r_2/r_1)}{\lambda_{\text{aisl}} \times 2\pi h_{\text{cilindro}}} \right)}$$

Para las tapas:

$$Q_{\text{aisl-tapa}} = \frac{T_{\text{ACS}} - T_{\text{ambiente}}}{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{aire}} \times A} + \frac{L_{\text{aisl}}}{\lambda_{\text{aisl}} \times A} \right)}$$

Siendo:

T_{ACS} la temperatura de salida del agua ($^{\circ}\text{C}$)

T_{ambiente} la temperatura del aire en la vivienda ($^{\circ}\text{C}$)

α_{aire} el coeficiente convectivo del aire ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

A la superficie exterior del deposito (m^2)

r_2 el radio exterior del depósito (m)

r_1 el radio interior del depósito (m)

λ_{aisl} el coeficiente de conductividad del aislante (W/mK)

L_{aisl} el espesor del aislante (m)

A continuación recopilamos los datos necesarios:

DATOS	
Tº ACS	65 ºC
Tº aire	20 ºC
Coef. Conv. Aire	7 W/m ² K
r2	0,243 m
r1	0,21 m
h (altura exterior)	0,94 m
Área cilindro	1,4352 m ²
Área tapa	0,1855 m ²
Coef. Conduct. Aisl	0,025 W/mK
Espesor aislante	0,033 m

Tabla 4. Datos carga térmica por aislamiento. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Operando directamente obtenemos:

$Q_{cilindro} = 41,35 \text{ W}$, que son 0,99 kWh/día.

$Q_{tapa} = 6,21 \text{ W}$, que son 0,15 kWh/día.

Y por tanto:

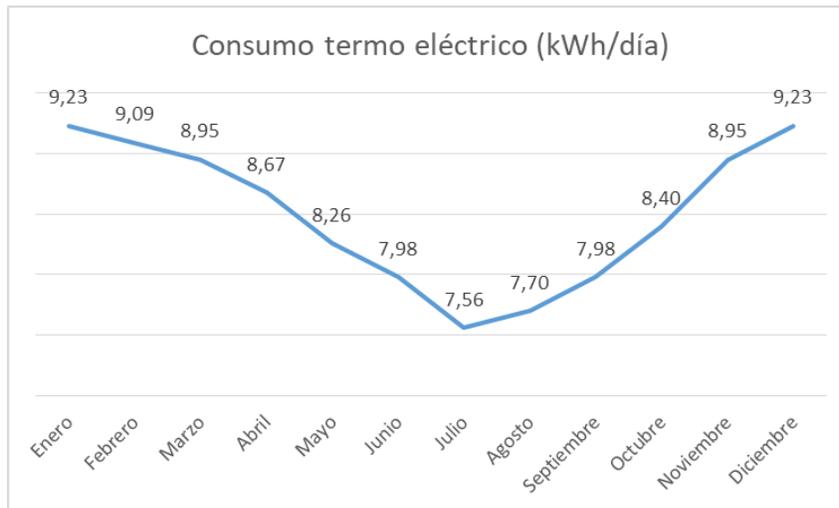
$Q_{aislamiento} = Q_{aisl-cilindro} + 2Q_{aisl-tapa} = 1,29 \text{ kWh/día.}$

2.1.4. Consumo eléctrico del termo

Siendo la carga térmica total la suma de la debida al calentamiento del agua y el aislamiento del depósito. Y dado que el rendimiento de la resistencia eléctrica para la conversión de la energía eléctrica en calor es del 100%, el consumo eléctrico será por tanto idéntico a ésta carga térmica:

Mes	Consumo eléctrico (kWh/día)
Enero	9,23
Febrero	9,09
Marzo	8,95
Abril	8,67
Mayo	8,26
Junio	7,98
Julio	7,56
Agosto	7,70
Septiembre	7,98
Octubre	8,40
Noviembre	8,95
Diciembre	9,23

Tabla 5. Consumo eléctrico. Termo Eléctrico. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 1. Consumo eléctrico. Termo eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Así pues, la carga térmica total del calentador eléctrico para el ejemplo del mes más desfavorable sería:

$$Q_{\text{termo}} = Q_{\text{calentamiento}} + Q_{\text{aislante}} = 7,94 + 1,29 = 9,23 \text{ kWh/día.}$$

2.2. Frigorífico

2.2.1. Introducción

En este estudio, no podemos obviar el electrodoméstico doméstico por excelencia. El conjunto de frigorífico y congelador, supone, en función de aquello que consideremos por electrodoméstico, entre un 30 y un 40% del total del consumo eléctrico anual debido a estos. El hecho de que su funcionamiento sea de 24 horas al día, hace su consumo eléctrico más de cuatro veces mayor al de otros electrodomésticos tales como lavadora, lavavajillas u horno.

Más concretamente, estamos hablando de consumos eléctricos, que dependiendo del etiquetado energético del conjunto, pueden variar desde los 175 kWh/año para aquellos de clase A+++ , hasta los 374 kWh/año de otro simplemente clase A, lo que supone un ahorro energético de más del 50%. Por otra parte, el consumo de aquellos frigoríficos más antiguos con etiqueta energética de clase C, se puede disparar hasta los 650 kWh/año. [5]

Con todo esto, podemos afirmar que dentro de aquellos consumos eléctricos en el ámbito doméstico debido a cargas térmicas sobre los que trata nuestro ámbito de estudio, el conjunto frigorífico-congelador juega un papel determinante y será más que interesante analizarlo.

2.2.2. Funcionamiento

El sistema de funcionamiento básico de un frigorífico es muy sencillo. El objetivo es tomar el calor del interior y expulsarlo para disminuir la temperatura y mantenerla baja. Esto se consigue con la acción del líquido refrigerante y el compresor, que lo mueve por los circuitos internos.

Ese líquido, que circula por un circuito interno de tuberías, se evapora por efecto de un aumento de la presión, y así absorbe el calor. Convertido ahora en gas, pasa por el compresor del electrodoméstico, vuelve a aumentar la presión y de nuevo se transforma en líquido. Entonces el refrigerante expulsa el calor que ha tomado a la atmósfera. [6][7]

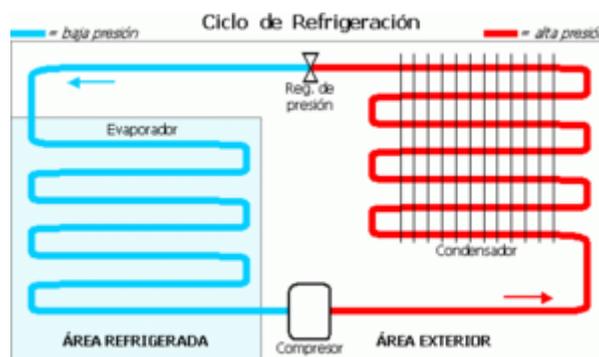


Figura 3. Ciclo de refrigeración del frigorífico. Fuente: Wikipedia.

2.2.3. Condiciones del estudio

2.2.3.1. Ambiente

El estudio va a tener lugar para el caso de un frigorífico a 5°C y un congelador a -16°C, en ambos casos, y para futuros cálculos, consideraremos una humedad relativa del aire en su interior del 85%.

En cuanto a la temperatura ambiente de la casa, está la vamos a considerar de 20°C constante durante todas las estaciones/meses que abarca esta parte del estudio, y con una humedad relativa del aire correspondiente del 50%.

2.2.3.2. Modelo

La principal razón por la que interesa partir de un modelo concreto de frigorífico es por partir de una referencia en cuanto a las dimensiones (ya que estas tampoco suelen aparecer de forma suficientemente detallada), así como conocer el tipo de aislante.

Por otra parte, también será interesante conocer qué tipo de refrigerante o compresor utiliza el ciclo de refrigeración, ya que esto influirá sobre el rendimiento o mejor dicho, coeficiente de operación del ciclo, repercutiendo por lo tanto en el consumo eléctrico final.

Como modelo base hemos elegido un LG GR3891SQA Combi de 2 puertas (frigorífico y congelador) y con una capacidad total de 322 L, haciéndolo adecuado para el caso que estamos considerando de vivienda con cuatro personas. Esta capacidad se divide en 218 L para el frigorífico y 104 L para el congelador. Estos son los dos principales datos que podemos extraer de la ficha técnica de cara a posteriores cálculos. [8]

En cuanto al aspecto energético, tiene etiqueta A+ y un consumo eléctrico estimado de 383 kWh/año, los resultados finales de nuestros cálculos deberán acercarse a dicha estimación. Aunque esto es solo orientativo, ya que como hemos comentado, el consumo final puede ser reducido en función de múltiples factores tales como el tipo de aislante, el rendimiento del propio compresor u otros aspectos tecnológicos.



Figura 4. Frigorífico LG GR3891SQA. Fuente: LG.com

2.2.3.3. Dimensiones

Tomando como referencia el modelo mencionado anteriormente, y simplificando ciertas zonas para facilitar los cálculos, dado que un mayor nivel de detalle tampoco añadiría variaciones diferenciales, hemos diseñado el siguiente esquema.

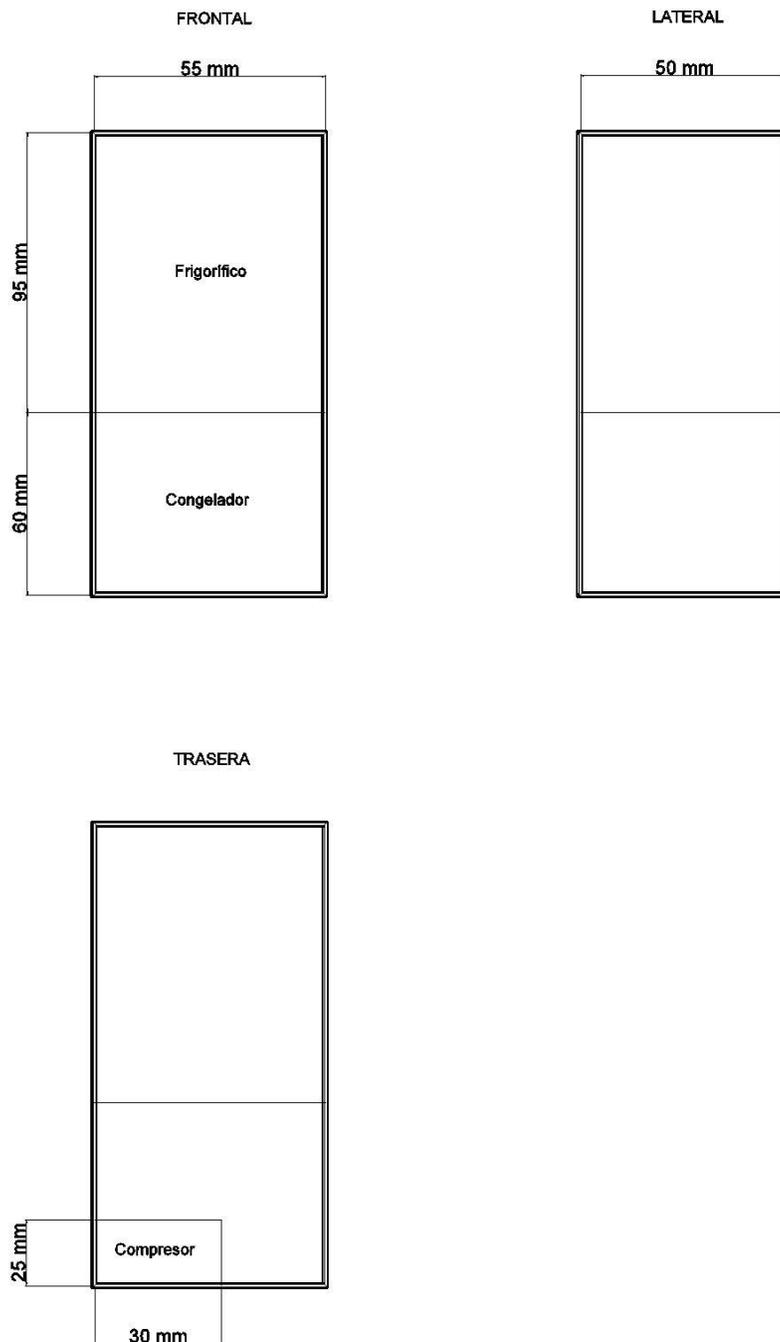


Figura 5. Dimensiones del frigorífico. Fuente: Elaboración propia (Software: AutoCad)

2.2.3.4. Materiales

La variedad de materiales que conforma un frigorífico la podemos reducir a las tres principales capas de las que consta este: [9]

- En cuanto a la parte externa, se suele optar en la mayoría de los casos por acero inoxidable, dada su resistencia a la corrosión o a la temperatura, y en definitiva por sus buenas propiedades mecánicas, así como su estética. En función por ejemplo de si se trata de una gama baja o alta, podemos encontrarnos otro tipo de acabados tales como plásticos (policarbonato) o cristal para el caso de las puertas.
- La parte más relevante es la intermedia, correspondiente a la capa de aislamiento. Esta resulta clave para determinar cuál es la carga térmica de nuestro conjunto por intercambio de calor con el exterior.

Hasta los años 60, se utilizaban como materiales aislantes el corcho o la lana natural. Desde entonces, se comenzó a utilizar el poliuretano expandido en forma de planchas, utilizando como agentes de expansión el CFC-11, HCFC-141b o HFC245-fa (los cuales han ido siendo prohibidos o restringidos en su uso por su poder contaminante).

A día de hoy, y a largo plazo, la alternativa más utilizada y prometedora es el ciclopentano. En términos numéricos, estas planchas de poliuretano suelen tener espesores de entre 3 y 7 mm, y un coeficiente de conducción en torno a 20-30 mW/mK. Sin embargo, dada la imposibilidad de reducir la conductividad térmica o aumentar el espesor de las planchas de poliuretano, también se puede trabajar con los denominados VIP, paneles de aislamiento al vacío, donde la baja transmisión de calor de este da lugar a coeficientes de conducción de entre 3 y 5 mW/mK.

- Para la parte interna, la perteneciente al interior de la nevera, se utilizan plásticos como el ABS, el polipropileno o el poliestireno. Para nuestro caso concreto, optaremos por capas interna y externa de unos 2 mm, en poliestireno y acero inoxidable respectivamente. Aunque dado su bajo espesor y su mayor conductividad térmica respecto al aislante, no las consideraremos a la hora de realizar los cálculos.

La capa aislante constará de paneles de poliuretano expandido mediante ciclopentano. Consideraremos un coeficiente de conducción de 0.025 W/mK y unos espesores de 40 mm y 60 mm para las partes del frigorífico y el congelador respectivamente.

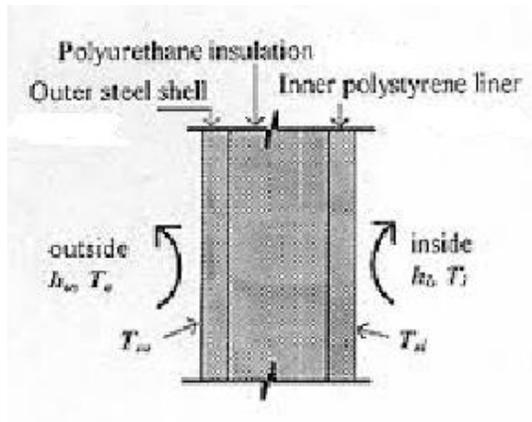


Figura 6. Capas de la pared. Frigorífico. Fuente:[10]

Finalmente, también deberemos de considerar la influencia de las juntas magnéticas de goma de las puertas. Tomando varias referencias consideraremos una conductividad de 0.07 W/mK y como dimensiones, 2 mm de espesor y 2 mm de ancho.

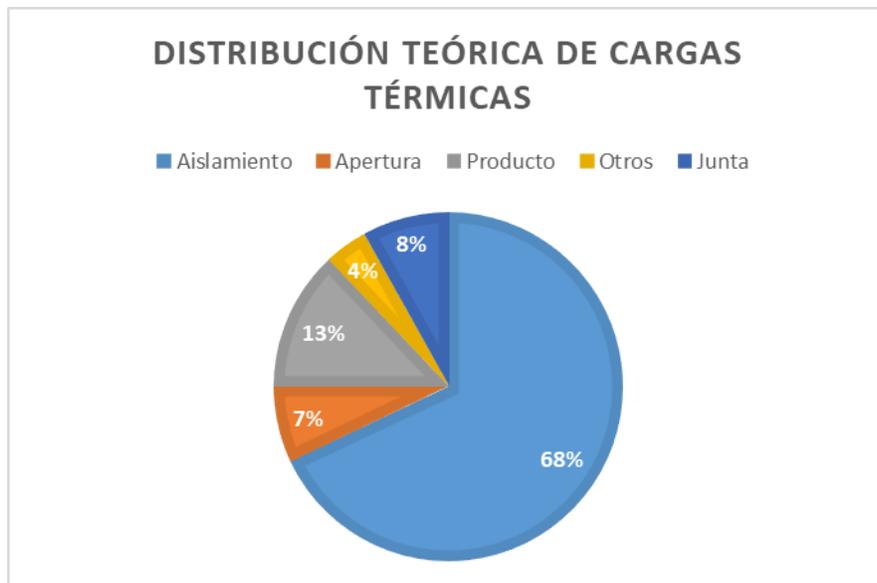
2.2.4. Cargas térmicas

Como parte inicial del estudio, necesitamos calcular cual es la cantidad de energía en forma de calor que ha de extraer del conjunto frigorífico-congelador el evaporador del ciclo de refrigeración para así mantenerlo a la temperatura deseada. La forma de saber esto es determinando las cargas térmicas (por calentamiento) o también expresables como pérdidas que sufre el conjunto en su funcionamiento diario y que deberán ser contrarrestadas por el evaporador.

Estas cargas térmicas pueden ser de todo tipo, en el caso por ejemplo de cámaras de refrigeración industriales, el propio hecho de la presencia de personal o de otros aparatos, incluyendo iluminación, ya suponen de por sí una carga térmica que ha de ser tenida en cuenta.

Para el caso del refrigerador doméstico, vamos a tener en cuenta únicamente las tres principales cargas térmicas que intervienen también en los procesos industriales antes mencionados. Estas son:

- Carga térmica debida al aislamiento de paredes y juntas de las puertas.
- Carga térmica debido al producto.
- Carga térmica debido a la apertura de la puerta.



Gráfica 2. Distribución de las cargas térmicas. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.

En la teoría, estas tres suponen el 96% de las cargas térmicas totales en frigoríficos domésticos. Una vez calculadas, podremos observar si los valores mantienen una correlación adecuada además de añadir un factor correctivo por ese 4% de otras cargas. Por tanto:

$$Q_{total} = (Q_{aislante-junta} + Q_{producto} + Q_{puerta}) \times \frac{1}{0,96}$$

2.2.4.1. Carga térmica debida al aislamiento de paredes y juntas de las puertas

Como hemos visto, la suma de las cargas térmicas debido al aislamiento de las paredes y las juntas magnéticas de las puertas suponen un 76% de la carga térmica total del conjunto frigorífico-congelador.

Estas cargas o pérdidas se producen debido a la transmisión de calor desde el exterior (20°C) hacia el interior de nuestro conjunto, que se encuentra a una temperatura inferior (5°C/16°C).

Estas cantidad de calor transmitida podemos cuantificarla por medio la fórmula para el cálculo de la potencia térmica por conducción en coordenadas cartesianas.

$$Q_{conducción} = \frac{T1 - T2}{\frac{L}{\lambda \times A}}$$

Siendo:

T1 la temperatura externa (°C)

T2 la temperatura interior (°C)

L el espesor de la capa de aislante o de la junta (m)

λ el coeficiente de conducción (W/mK)

A la superficie de conducción (m^2)

Para calcular la carga térmica total, simplemente deberemos sumar las cargas de las diferentes zonas en que hemos dividido el esquema del conjunto, cada uno tendrá diferentes valores de superficie, temperaturas, espesores, etc.

$$\begin{aligned} Q_{aislante-junta} = & Q_{puerta-frigo} + Q_{junta-frigo} + Q_{superior-frigo} + Q_{trasera-frigo} \\ & + Q_{lateral-frigo} + Q_{puerta-cong} + Q_{junta-cong} + Q_{trasera-cong} \\ & + Q_{compresor-cong} + Q_{inferior-cong} + Q_{lateral-cong} \end{aligned}$$

Como aspectos a valorar antes de realizar los cálculos, debemos tener en cuenta alguna consideración:

- La temperatura exterior para el caso de las partes traseras de frigorífico y congelador es de 35°C, debido a la presencia en esa zona del condensador.
- La temperatura exterior para una zona de la parte trasera del congelador es de 45°C, debido a la presencia del compresor.
- Para el caso de las juntas de goma e las puertas, la superficie de transmisión A la calculamos de manera algo diferente. Resulta el ancho de esta (20 mm) por el perímetro de la puerta correspondiente.

Con todo esto, ya hemos introducido los datos necesarios para poder llevar a cabo los cálculos. Junto a las medidas necesarias para el cálculo de las superficies tomadas de los apartados anteriores, en la siguiente tabla aparecen el resto de datos a tener en cuenta.

DATOS	
T2 (ambiente)	20 °C
T1 (frigorífico)	5 °C
T1 (congelador)	-16 °C
T2 (compresor)	45 °C
T2 (parte trasera)	30 °C
Aislante	Poliuretano
Espesor (frigorífico)	0,04 m
Espesor (Congelador)	0,06 m
Conductividad	0,025 W/mK
Junta	Goma
Ancho	0,02 m
Espesor	0,02 m
Conductividad	0,07 W/mK

Tabla 6. Datos carga térmica aislamiento. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.

	ZONA	1/espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Dimensiones (w*d*h)	Area (m2)	T2-T1	Piezas	Carga térmica (Wh)
Frigorífico	Puerta frontal	25,00	0,025	0,55*0,95	0,5225	15	1	4,90
	Junta	50,00	0,07	0,02*2*(0,95+0,55)	0,06	15	1	3,15
	Parte superior	25,00	0,025	0,55*0,5	0,275	15	1	2,58
	Parte trasera	25,00	0,025	0,55*0,95	0,5225	25	1	8,16
	Lateral	25,00	0,025	0,5*0,95	0,475	15	2	8,91
Congelador	Puerta frontal	16,67	0,025	0,55*0,6	0,33	36	1	4,95
	Junta	50,00	0,07	0,02*2*(0,55+0,6)	0,046	36	1	5,80
	Parte trasera	16,67	0,025	(0,55*0,6)-0,075	0,255	46	1	4,89
	Zona compresor	16,67	0,025	0,3*0,25	0,075	61	1	1,91
	Parte inferior	16,67	0,025	0,55*0,5	0,275	36	1	4,13
	Lateral	16,67	0,025	0,5*0,6	0,3	36	2	9,00
Total								58,36

Tabla 7. Carga térmica por aislamiento. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente debemos trasponer este dato a carga térmica diaria, es decir, Wh/día. Simplemente multiplicando el dato anterior por las 24 horas.

Por tanto, la carga térmica del conjunto debido a los aislantes y las juntas será de 1,4 kWh/día.

2.2.4.2. Carga térmica debido al producto

Se estima teóricamente que este tipo de carga representa un 13% del total. Los alimentos introducidos en el frigorífico o congelador entran a una temperatura sensiblemente superior a la del interior. Esto se traduce en una carga térmica determinada para enfriar los productos o contrarrestar el calor liberado por estos.

Se trata de una fórmula sencilla para el caso del frigorífico:

$$Q_{\text{producto-frigo}} = m \times C_p \times (T_{\text{entrada}} - T_{\text{final}})$$

Siendo:

m la entrada diaria de producto ($Kg/día$)

C_p el calor específico del producto ($W/Kg^{\circ}C$)

T_{entrada} la temperatura de entrada del producto ($^{\circ}C$)

T_{final} la temperatura interna (y final del producto) ($^{\circ}C$)

Para el proceso de congelación, se añaden algunas variantes:

$$Q_{\text{producto-conge}} = [m \times C_{p1} \times (T_{\text{entrada}} - T_{\text{congelacion}})] + \lambda + [m \times C_{p2} \times (T_{\text{congelacion}} - T_{\text{final}})]$$

Siendo:

m la entrada diaria de producto ($Kg/día$)

C_{p1} el calor específico del producto sin congelar ($W/Kg^{\circ}C$)

T_{entrada} la temperatura de entrada del producto ($^{\circ}C$)

$T_{\text{congelacion}}$ la temperatura a la que se congela el producto ($^{\circ}C$)

Λ el calor latente de congelación del producto (W^L/Kg)

C_{p2} el calor específico del producto congelado ($W/Kg^{\circ}C$)

T_{final} la temperatura interna (y final del producto) ($^{\circ}C$)

La resolución de estas fórmulas no entraña mayor dificultad, sin embargo, sí lo hacen las diversas suposiciones o estimaciones que debemos hacer para aplicarlas al caso de un frigorífico doméstico.

- En primer lugar, debemos estimar una temperatura de entrada del producto. Esta puede depender de múltiples factores, desde si se trata de un producto que estaba almacenado a temperatura ambiente, refrigerado o congelado, hasta la variación de temperatura del producto en su trayecto del supermercado a casa mismamente, que se ve influenciado además por la época del año. Obviando estas variaciones que tampoco tienen una relevancia en el objetivo total de nuestro estudio, consideraremos una temperatura de entrada de 18°C y 5°C para los productos destinados a frigorífico y congelador respectivamente.
- En segundo lugar, existe una muy amplia variedad de productos (carne, pescado, bebidas, verdura, etc.) con diferente caudal másico de entrada y diferentes propiedades. Tener a todos en cuenta alargaría innecesariamente el proceso de cálculo además de tener que recurrir a numerosas estimaciones que influirían en el resultado. Una de las soluciones que podemos considerar es la de aproximar toda la carga de producto de nuestro conjunto como si se tratase de agua, ya que buena parte de los alimentos más comúnmente consumidos tienen un alto porcentaje de esta en su composición.
- Por último, y tomando la aproximación comentada del agua, debemos estimar la carga diaria de producto a enfriar. Supondremos para el frigorífico una carga de producto de 2 Kg/día.persona, es decir 8 Kg/día. Y para el congelador una carga total de 1 Kg/día.

Buscamos los datos necesarios referidos al calor específico y al calor latente del agua:

DATOS		
Calor específico agua líquida	4,186 KJ/Kg	1,163 Wh/Kg°C
Calor específico agua sólida	2 KJ/Kg	0,555 Wh/Kg°C
Calor latente fusión agua	334 KJ/Kg	92,7 Wh/Kg

Tabla 8. Datos carga térmica producto. Frigorífico. Fuente: herramientasingeneria.com

Realizando los cálculos:

	m (Kg/día)	Calor específico (Wh/Kg°C)	Calor latente (Wh/Kg)	T1 (°C)	T2 (°C)	T1-T2	Carga térmica (Wh/día)
Frigorífico	8	1,163		18 °C	5 °C	13	120,952
Congelador	1	1,163		7 °C	0 °C	7	8,141
	1		92,7	0 °C	0 °C		92,7
	1	0,555		0 °C	-16 °C	16	8,88
Total							230,673
							0,23 kWh/día

Tabla 9. Carga térmica por producto. Frigorífico. Fuente: *Elaboración propia.*

Observamos que en este caso, la carga térmica queda repartida prácticamente al 50% entre frigorífico y congelador. Y será en total de 0,23 kWh/día.

2.2.4.3. Carga térmica debido a la apertura de puerta

La última de las cargas térmicas a estudiar es la debida al intercambio directo de calor exterior-interior que tiene lugar cada vez que abrimos la puerta del frigorífico o congelador. Aunque esta suponga apenas un 7% del total de la carga térmica total, se trata de un aspecto que depende totalmente del usuario y sobre el que puede tomar acción para lograr un cierto ahorro.

Para calcular esta carga podemos optar por el método tradicional teniendo en cuenta la transmisión de calor debida a la conducción de la cabina y del intercambio volumétrico de aire, la radiación debida a la cabina y la puerta y el calor latente debido a la condensación en las superficies y la renovación del aire.

$$Q_{puerta} = Q_{convección} + Q_{radiación} + Q_{latente}$$

Sin embargo, en la mayoría de los estudios aparecen diversas aproximaciones que permite reducir esto a fórmulas más sencillas. Una de las más utilizadas es la siguiente:

$$Q_{puerta} = n_{aperturas} \times V_{interior} \times \rho_{aire} \times \Delta h$$

Siendo

$n_{renovaciones}$ el número de veces que se abre la puerta al día ($renovaciones/día$)

$V_{interior}$ la capacidad del frigorífico o congelador (m^3)

ρ_{aire} la densidad media del aire a las temperaturas interior y exterior (Kg/m^3)

Δh la diferencia de entalpia del aire interior y exterior (kJ/Kg)

Esta la deberemos aplicar de forma independiente para el caso del frigorífico y del congelador, por tanto:

$$Q_{puerta} = Q_{puerta-frigo} + Q_{puerta-cong}$$

Para el dato de aperturas diarias de la puerta no existen referencias demasiado concretas. Una encuesta realizada por LG Electronics estima que una familia promedio puede llegar a abrir la puerta del frigorífico hasta 66 veces al día, la mitad de ellas sin ningún fin específico. Otros estudios estiman que el número de aperturas varían, dependiendo del día, entre 10 y 50. Por tanto vamos a suponer una media de 45 renovaciones/día para el caso del frigorífico. Para el congelador, que realmente se usa mucho menos, supondremos 8 renovaciones/día. [11]

A continuación, mostramos los datos de densidad y entalpia del aire obtenidos a partir de los diagramas psicométricos correspondientes a las condiciones de temperatura y humedad respectivos. [12]

Para el frigorífico:

T (°C)	Humedad relativa (%)	Densidad (Kg/m3)	Densidad media (Kg/m3)	Entalpía (KJ/Kg)	Δh (KJ/Kg)
5 °C	85%	1,24	1,205	16,5	22,1
20 °C	50%	1,17		38,6	

Tabla 10. Datos aire interno del frigorífico. Fuente: herramientasingenería.com

Para el congelador:

T (°C)	Humedad relativa (%)	Densidad (Kg/m3)	Densidad media (Kg/m3)	Entalpía (KJ/Kg)	Δh (KJ/Kg)
-16 °C	85%	1,37	1,27	-14,9	53,5
20 °C	50%	1,17		38,6	

Tabla 11. Datos aire interno congelador. Fuente: herramientasingenería.com

Por último recordamos los datos ya conocidos de la capacidad del frigorífico: 218 L = 0,218 m³ y la capacidad del congelador: 104 L = 0,104 m³.

Realizando los cálculos:

	Nº aperturas (ren/día)	Volumen (m3)	Densidad media (Kg/m3)	Δh (KJ/Kg)	KJ a W	Q (Wh/día)
Frigorífico	45	0,218	1,205	22,1	0,277777778	72,57
Congelador	8	0,104	1,27	53,5	0,277777778	15,70
Total						88,27

Tabla 12. Carga térmica por aperturas de puerta. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, la carga térmica debida a la apertura de las puertas será de 0,088 kWh/día.

Como comentábamos, el número de veces que se abre la puerta del frigorífico diariamente, es un factor clave para lograr ahorro energético. Reduciendo este a la mitad, reduciríamos la carga térmica debido a este factor proporcionalmente también a la mitad.

Finalmente, tenemos el valor de la carga térmica para cada uno de los casos:

$$Q_{\text{aislante-junta}} = 1,4 \text{ kWh/día.}$$

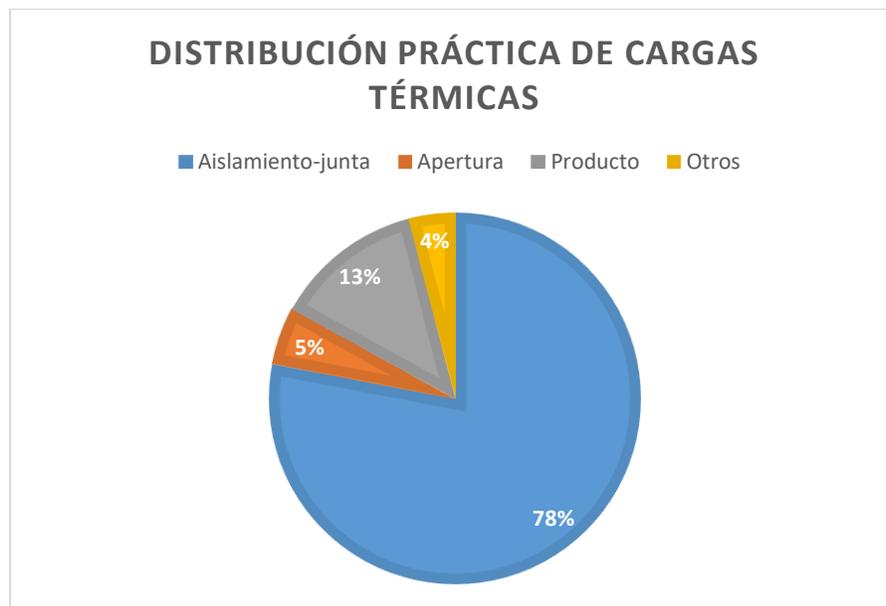
$$Q_{\text{producto}} = 0,23 \text{ kWh/día.}$$

$$Q_{\text{puerta}} = 0,088 \text{ kWh/día.}$$

Sustituyendo en:

$$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{aislante-junta}} + Q_{\text{producto}} + Q_{\text{puerta}}) \times \frac{1}{0,96}$$

La carga térmica de nuestro conjunto será de 1,79 kWh/día.



Gráfica 3. Distribución práctica cargas térmicas. Frigorífico. Fuente: Elaboración propia.

Observamos que efectivamente tienen concordancia con los porcentajes teóricos que debíamos obtener.

2.2.5. Consumo eléctrico del frigorífico

El último paso antes de conocer la demanda de energía eléctrica diaria de nuestro conjunto es traducir esta carga térmica del evaporador ya conocida, en trabajo proporcionado por el compresor del ciclo de refrigeración.

Para ello, basta con conocer el COP (Coeficiente de operación) del ciclo de refrigeración.

$$COP = \frac{Q_{evaporador}}{W_{compresor}}$$

Únicamente deberemos despejar el valor de $W_{compresor}$. Para el caso de frigoríficos domésticos, este COP suele oscilar entre 1,5 y 3. Y más concretamente, para aquellos utilizando como refrigerante R600a, podemos estimar un COP de 2. Así pues, el trabajo desarrollado por el compresor, coincidente, al estimar un rendimiento de este del 100%, con el consumo eléctrico diario requerido por el conjunto, será:

$$W_{compresor} = 0,895 \left[kWh/año \right]$$

Trasladado a consumo eléctrico anual: 326,7 kWh/año, que se aproxima al dato dado por el fabricante (383 kWh/año) para el modelo LG GR3891SQA que hemos utilizado como base para nuestro estudio.

2.3. Bomba de calor

2.3.1. Introducción

A día de hoy existen multitud de posibilidades para afrontar la climatización de una vivienda, se pueden clasificar según multitud de criterios. Uno de ellos es diferenciar entre sistemas que solo permiten el trabajo en un sentido (calentamiento o enfriamiento) o los que pueden abarcar ambas funciones.

Para el primero de los casos, se parte de posibilidades como la calefacción de gas convencional o la calefacción eléctrica, pasando por el uso del suelo radiante o la bomba de calor. Ésta última utiliza energía eléctrica y presenta una eficiencia mucho mayor, siempre dentro de ciertas condiciones climáticas que no afecten al rendimiento, que aquellos sistemas tradicionales. Por ello, ha ido ganando fuerza en los últimos años. Para la refrigeración, lo más común es el uso de aire acondicionado, que puede ser integral para toda la vivienda, o aparatos individuales por estancias.

En el caso de nuestra vivienda, utilizaremos un sistema que integre ambas funciones de calentamiento y enfriamiento. Para ello, utilizaremos una bomba de calor reversible. Se tratará de una instalación integral por conductores, con un único aparato central (bomba de calor) que distribuye el calor o el frío por todas las estancias de la casa. Entre las múltiples ventajas de este sistema se encuentra su elevada eficiencia energética, ya que permite entregar mayor energía térmica de la que consume.

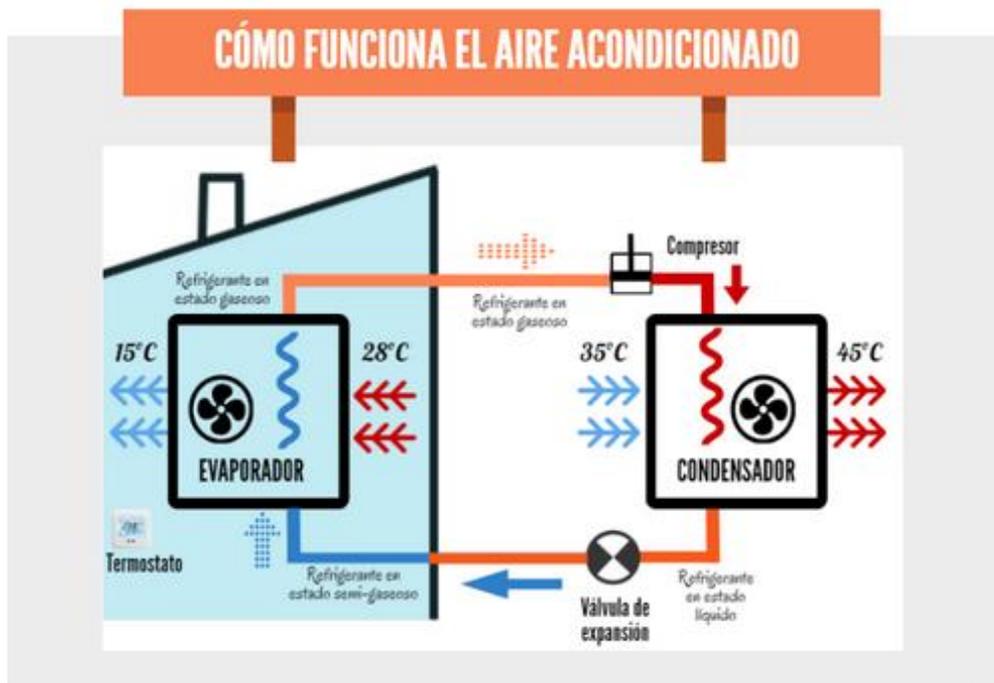


Figura 7. Funcionamiento de la bomba de calor. Fuente: caloryfrio.com

Su funcionamiento, al igual que en el caso del frigorífico, se basa en las propiedades de cambio de estado de un fluido refrigerante. Este refrigerante en estado gaseoso es comprimido, al elevar su presión cede calorías a un condensador, pasando a estado líquido. Después atraviesa una válvula de expansión donde se elevan su presión y temperatura y pasa a estado gaseoso dentro de un evaporador donde recupera calorías y genera calor. [13][14]

Para el caso contrario el ciclo se invierte, de forma que el evaporador se coloca dentro de la vivienda y el condensador fuera, permitiendo transferir calor de dentro a fuera.

En esta fase del estudio, analizaremos las cargas térmicas en la vivienda a las que se pretende hacer frente con la climatización, y el consumo eléctrico derivado de ello.

2.3.2. Condiciones del estudio

2.3.2.1. Climáticas

Hemos extraído los datos de temperatura externa media por meses en Zaragoza de la web climate-data.org.

Mes	Texterior (°C)
ENE	6,1
FEB	7,7
MAR	11
ABR	13,4
MAY	16,9
JUN	20,9
JUL	24
AGO	23,6
SEP	20,7
OCT	15,2
NOV	10
DIC	6,9

Tabla 13. Temperatura exterior en Zaragoza. Fuente [climate-data](http://climate-data.org).

Así mismo, los datos de humedad relativa del aire en el exterior los hemos extraído de la web <https://www.weather-es.com>

Mes	Humedad relativa (%)
ENE	75
FEB	68
MAR	60
ABR	58
MAY	56
JUN	52
JUL	49
AGO	53
SEP	59
OCT	69
NOV	74
DIC	77

Tabla 14. Humedad relativa del aire en Zaragoza. Fuente [Weather-Atlas](https://www.weather-es.com).

Por último, para esta parte concreta del estudio, sí que hemos determinado unas temperaturas interiores de confort variables a lo largo del año, de entre 21 y 23°C. Tomando, eso sí, como veníamos haciendo hasta ahora, una humedad relativa del aire del 50%.

Mes	T interior (°C)
ENE	21
FEB	21
MAR	22
ABR	22
MAY	22
JUN	23
JUL	23
AGO	23
SEP	22
OCT	22
NOV	22
DIC	21

Tabla 15. Temperatura interior de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.2. Diseño y dimensiones de la vivienda

Se trata quizás del aspecto más influyente en el cálculo de las cargas térmicas, en él están presentes multitud de factores que vamos a ir describiendo y cuyo valor podemos modificar en la Excel que hemos diseñado, observando así las variaciones que provocan.

En primer lugar, toca definir el tipo de vivienda. Por no añadir demasiada complejidad a esta parte del estudio, tomaremos como modelo una vivienda unifamiliar de una sola altura habitable (con bodega y buhardilla), y con una planta de forma rectangular, estando cada una de las caras orientadas exactamente al norte, sur, este u oeste. Para la fachada consideraremos una altura de 2,8 m. Además, la superficie útil real de la vivienda, vendrá dada por la división de la superficie total construida entre un factor de 1,4.

Altura fachada	2,8
Anchura Norte	17
Anchura Sur	17
Anchura Este	10
Anchura Oeste	10
Superficie Cons	170
Superficie Util	121

Tabla 16. Dimensiones de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

Otro de los aspectos principales a tener en cuenta es el número de ventanas y su superficie con las que cuenta la vivienda. Estas aparecen detalladas en la siguiente tabla:

Ventanas	n	Ancho(m)	Alto(m)	Sup. Total(m ²)	% Cristal	Sup. Marco (m ²)	Sup.cristal(m ²)
Norte	2	3	1,4	8,4	0,55	3,78	4,62
Sur	2	4	1,4	11,2	0,55	5,04	6,16
Este	2	2	1,4	5,6	0,55	2,52	3,08
Oeste	2	2	1,4	5,6	0,55	2,52	3,08

Tabla 17. Especificaciones para las ventanas. Fuente: Elaboración propia.

Cabe diferenciar para más adelante, el porcentaje de ventana que corresponde al marco y al cristal en sí, para nuestro caso hemos estimado un 55% de la ventana correspondiente a la parte acristalada.

Combinando las dos tablas anteriores, los principales datos dimensionales que deberemos conocer para nuestra vivienda serán los siguientes:

	Norte	Sur	Este	Oeste
Superficie total	47,6	47,6	28	28
Sup. Fachada	39,2	36,4	22,4	22,4
Sup. Cristal	4,62	6,16	3,08	3,08
Sup. Marco	3,78	5,04	2,52	2,52

Tabla 18. Superficies externas de la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.3. Materiales de construcción

Junto a las dimensiones de la vivienda, los materiales de los que ésta está compuesta serán otro factor determinante para evaluar las cargas térmicas provenientes del exterior. [16]

Comenzando por las ventanas, estas constarán de vidrio laminado para la parte del cristal, y un marco de PVC, que tendrán las siguientes transmitancias, de acuerdo al CTE (código técnico de edificación) y la norma UNE-EN ISO 10077-1 respectivamente. [15]

	Transmitancia (W/m ² K)
Vidrio laminado	3,3
Marco (PVC)	2,2

Tabla 19. Transmitancias térmicas de las ventanas. Fuente: CTE.

Para el caso de los muros exteriores existen múltiples tipos de configuraciones: con aislantes internos o externos, acabados exteriores en ladrillo u otros materiales, diversos tipos de capas, etc. Todas estas posibilidades podemos encontrarlas en el catálogo de Isover, empresa líder en soluciones de aislamiento térmico. [17][18]

En nuestro caso hemos optado por la siguiente configuración:

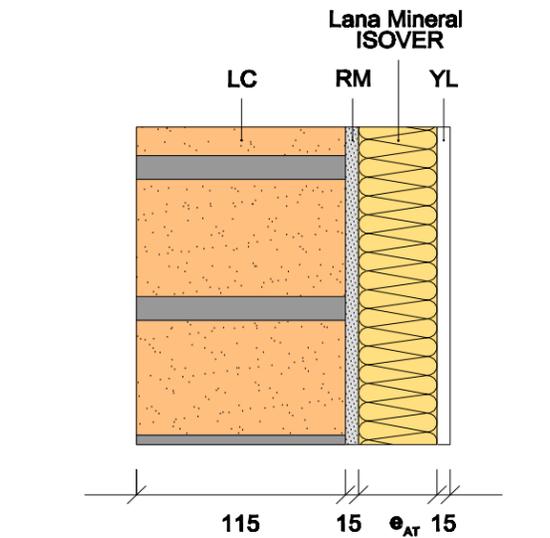


Figura 8. Materiales por capas en la fachada de la vivienda. Fuente: Isover.

Siendo:

LC la capa externa de fábrica de ladrillo macizo.

RM una capa intermedia de mortero de cemento o cal para albañilería.

YL las placas de yeso de la pared interior.

Para el tipo de aislante, hemos elegido el modelo Ecovent 035 del catálogo Isover. Se trata de paneles semirrígidos de lana mineral arena, no hidrófilos y revestidos en una de sus caras con un velo de vidrio negro de gran resistencia mecánica. El espesor requerido para dicho aislante varía en función de la zona climática (Zaragoza corresponde a zona climática D3). Este dato nos lo proporciona una herramienta web de la propia empresa, siendo de 120 mm. Por otra parte también nos especifican la conductividad térmica del material, que es de 0,035 W/m²K.

Para el resto de capas, podemos acceder a sus valores de conductividad térmica a través del CTE.

	Espesor	Conductividad (W/mK)
Ladrillo	115	0,958
Mortero	15	0,47
Aislante	120	0,035
Yeso	15	0,25

Tabla 20. Espesor y conductividad térmica en la fachada de la vivienda. Fuente: CTE.

2.3.3. Cargas térmicas

Nos referimos como cargas térmicas en una vivienda a aquellas que tienden a modificar la temperatura en su interior o su contenido en humedad.

En este sentido podemos diferenciar entre cargas sensibles (aquellas que originan una variación en la temperatura del aire) o cargas latentes (que varían la humedad absoluta del ambiente).

Aunque para realizar este estudio vamos a agrupar las cargas térmicas según su procedencia. Inicialmente podemos distinguir entre:

- Cargas térmicas externas: A través de transmisión en superficie exterior, radiación solar a través de superficies acristaladas e introducidas por ventilación de aire.
- Cargas térmicas internas: Generadas por los ocupantes, la iluminación y los aparatos eléctricos.

$$Q_t = Q_{RS} + Q_{TRP} + Q_{vent} + Q_{ocu} + Q_{ilu+elec}$$

De aquí en adelante, al presentar los datos de cargas térmicas de cada tipo, remarcaremos en azul aquellas que suponen un aporte de calor, y por tanto, requieran de refrigeración. Y remarcaremos en rojo aquellas cargas térmicas que supongan una pérdida de calor, y por tanto la necesidad de utilización de la bomba de calor.

2.3.3.1. Cargas por radiación solar a través de ventanas

Podemos definir a este tipo de carga como ganancia solar, la cual se refiere al aumento de la energía térmica de un espacio tras ser expuesto a la radiación solar incidente. La ganancia solar que sufre el espacio depende de la irradiación solar incidente y de las propiedades de los materiales.

Los objetos alcanzados por la luz solar (en nuestro caso el vidrio de las ventanas) absorben sus componentes infrarrojas de onda corta y visible aumentando su temperatura, y luego reirradian ese calor a longitudes de onda infrarrojas más largas. Además, dado que son transparentes, permiten que la luz visible los atraviese casi sin impedimentos, y que al aumentar su longitud de onda, no puede escapar por la ventana al ser vidrio opaco para estas longitudes de onda más largas. El calor atrapado da lugar a esta ganancia, fenómeno que también conocemos como efecto invernadero.

Esta carga térmica por radiación a través de ventanas la podemos calcular con la siguiente fórmula:

$$Q_{RS} = S \times R \times F$$

Siendo:

S la superficie acristalada en (m^2)

R la radiación solar incidente ($Wh/m^2día$)

F el factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio, sombras, cortinas, etc

Para la obtención de los diversos datos:

En primer lugar, conviene obtener el dato de energía que incide sobre metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes.

El objetivo es trasladar este dato inicial a radiación incidente para cada una de las orientaciones geográficas (Norte, Sur, Este, Oeste) sobre una superficie vertical (90°) y para la latitud de 41.7° , correspondiente a la localización de nuestra vivienda (Zaragoza). [19]

Mediante un software de la Universidad de Jaén, podemos realizar estos cálculos fácilmente. [20]

	Radiación Solar (Wh/m2día)			
	Norte	Sur	Este	Oeste
ENE	343	2761	1003	1003
FEB	416	3514	1596	1596
MAR	463	3608	1761	2128
ABR	756	2689	2490	2490
MAY	1220	2120	2955	2955
JUN	1421	1841	3164	3164
JUL	1319	2037	3380	3380
AGO	626	2829	3120	3120
SEP	431	3811	2833	2833
OCT	395	3997	1928	1928
NOV	333	3467	1152	1341
DIC	303	2835	964	964

Tabla 21. Radiación solar incidente en la vivienda. Fuente: Elaboración propia.

Observamos que en los meses de invierno, la radiación solar en la cara norte es bastante baja. En ese sentido, para el caso de localizaciones con inviernos fríos, resulta interesante que las viviendas tengan la máxima parte posible de su fachada orientada al sur, lo cual puede permitir un ahorro energético considerable en cuanto a necesidades de calefacción. Este es un factor que por tanto resulta de importancia y repercute en el precio de las viviendas.

En cuanto a la superficie acristalada, hemos considerado unas dimensiones determinadas para el caso de nuestra vivienda unifamiliar, que hemos reflejado en la tabla 17 anteriormente.

Por último, el factor de corrección “F” puede variar en función del tipo de la presencia de toldos, de la sombra que aporta la cornisa, del tiempo que permanecen las persianas bajadas o incluso del color de las cortinas. Atendiendo a diversas tablas, hemos seleccionado un valor medio constante de 0,3.

La carga total variará por tanto cada mes y supondrá siempre un aporte de calor a la vivienda, lo que como hemos comentado, resultar favorecedor durante los meses de invierno.

	Norte	Sur	Este	Oeste	Total (Wh/día)
ENE	475	5102	927	927	7431
FEB	577	6494	1475	1475	10020
MAR	642	6668	1627	1966	10903
ABR	1048	4969	2301	2301	10619
MAY	1691	3918	2730	2730	11070
JUN	1970	3402	2924	2924	11219
JUL	1828	3764	3123	3123	11839
AGO	868	5228	2883	2883	11861
SEP	597	7043	2618	2618	12875
OCT	547	7386	1781	1781	11497
NOV	462	6407	1064	1239	9172
DIC	420	5239	891	891	7441

Tabla 22. Carga térmica por radiación solar. Vivienda. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3.2. Cargas por transmisión a través de paredes y ventanas

Para calcular la carga térmica por transmisión a través de paredes y ventanas utilizamos la fórmula para pérdidas por conducción en coordenadas cartesianas:

$$Q_{TRP} = \frac{(T_{ext} - T_{int})}{\sum \frac{L}{\lambda \times A}}$$

o

$$Q_{TRP} = K \times A \times (T_{ext} - T_{int})$$

Siendo:

L el espesor de la capa (m)

λ el coeficiente de conducción del material (W/mK)

K el coeficiente global de transmisión térmica (W/m^2K)

A la superficie de fachada, cristal o marco (m^2)

T_{ext} la temperatura en el exterior de la vivienda ($^{\circ}C$)

T_{int} la temperatura en el interior de la vivienda ($^{\circ}C$)

Para nuestro estudio, ya que no se trata del objetivo principal, nos hemos limitado al análisis de las superficies de la fachada y las ventanas con sus respectivos marcos y cristales. Despreciando así las pérdidas que pudiesen darse a través del suelo o del tejado cuya incidencia es menor, habiendo considerado la existencia de sótano y buhardilla, sobre los que no está previsto que actué el sistema de bomba de calor reversible, y que por tanto, se pueden considerar zonas aislantes respecto a la temperatura del terreno o del exterior respectivamente. Además, también estamos obviando otros muchos aspectos como la transmisión desde los cimientos o a través de diversos tipos de juntas en la fachada. Por ello, hemos añadido un factor de corrección de 1,2.

Partiendo de los datos presentados sobre las condiciones climáticas y la distribución y características de la vivienda, calculamos la carga térmica por mes:

	Carga térmica total (Wh/día)
ENE	-51265
FEB	-45760
MAR	-37847
ABR	-29589
MAY	-17547
JUN	-7225
JUL	3441
AGO	2064
SEP	-4473
OCT	-23396
NOV	-41287
DIC	-48513

Tabla 23. Carga térmica por transmisión. Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo I aparece detallada la Excel utilizada, donde se puede observar cómo se distribuyen estas cargas térmicas, además de poder estudiar la influencia de las diferentes variables que intervienen.

En esta Excel, se refleja como las mayores pérdidas térmicas se deberán a las ventanas, a través del marco y los cristales, que aunque suponen menor superficie, tienen coeficientes de conducción muy elevados respecto al del material aislante en la fachada.

Así mismo, observamos que en el mes de enero, donde la diferencia entre la temperatura interior (21°C) y la temperatura exterior (6,1°C) es mayor, se produce el máximo de pérdidas de calor. Mientras que en los meses de julio y agosto, se produce incluso entrada de calor desde el exterior, lo que conllevará a un mayor consumo en refrigeración.

2.3.3.3. Carga por infiltraciones de aire

La carga por infiltraciones de aire resulta de la suma de la carga térmica latente y la carga térmica sensible transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior:

$$Q_{vent} = n \times C_{avp} \times \left(C_e \times \frac{1}{\rho} \times (T_{ext} - T_{int}) + C_v \times \frac{1}{\rho} \times (W_{ext} - W_{int}) \right)$$

Siendo:

n el número de personas en la vivienda

C_{avp} el caudal de aire de ventilación ($m^3/hora \times persona$)

C_e el calor específico del aire a 20°C y h.r 50% ($W/Kg^{\circ}C$)

ρ la densidad del aire (m^3/Kg)

T_{ext} la temperatura en el exterior de la vivienda ($^{\circ}C$)

T_{int} la temperatura en el interior de la vivienda ($^{\circ}C$)

C_v el calor cedido por condensación de 1 g de vapor de agua ($W/Kg.g$)

W_{ext} la humedad específica del aire exterior (g/Kg)

W_{int} la humedad específica del aire interior (g/Kg)

El caudal de aire de ventilación recomendado varía en función del tipo de local, para el caso de una vivienda es de 15 m³/h.pers. [21]

El resto de datos son ya conocidos o extraídos de bases de datos (temperaturas y humedades relativas) o podemos obtenerlos a partir de estos anteriores mediante el diagrama psicrométrico del aire (humedad específica y densidad) para los diferentes meses del año.

	N	Cavp (m ³ /h.pers)	Car (m ³ /h)	Calor específico aire (W/Kg°C)	Densidad aire (Kg/m ³)	Text-Tint	Q cond. vap.	Densidad aire (Kg/m ³)	Wext (g/Kg)	Wint (g/Kg)	Wext-Wint	Carga térmica (Wh/día)
ENE					1,166	-14,9		1,166	4,631	7,920	-3,289	-5978,62
FEB					1,166	-13,3		1,166	4,846	7,920	-3,074	-5424,68
MAR					1,162	-11		1,162	5,092	8,426	-3,334	-5008,21
ABR					1,162	-8,6		1,162	5,655	8,426	-2,771	-4020,64
MAY					1,162	-5,1		1,162	7,168	8,430	-1,262	-2140,53
JUN	4	15	60	0,211	1,158	-2,1	0,516	1,158	8,606	9,000	-0,394	-803,82
JUL					1,158	1		1,158	9,856	9,000	0,856	811,64
AGO					1,158	0,6		1,158	10,547	9,000	1,547	1150,08
SEP					1,162	-1,3		1,162	9,366	8,430	0,936	258,60
OCT					1,162	-6,8		1,162	7,884	8,426	-0,542	-2124,65
NOV					1,162	-12		1,162	5,884	8,426	-2,542	-4763,24
DIC					1,166	-14,1		1,166	4,991	7,920	-2,929	-5540,74

Tabla 24. Carga térmica por infiltraciones. Vivienda. Fuente: Elaboración propia.

Siendo las cargas térmicas resultantes:

	Carga térmica (Wh/día)
ENE	-5978,62
FEB	-5424,68
MAR	-5008,21
ABR	-4020,64
MAY	-2140,53
JUN	-803,82
JUL	811,64
AGO	1150,08
SEP	258,60
OCT	-2124,65
NOV	-4763,24
DIC	-5540,74

Tabla 25. Carga térmica por infiltraciones. Vivienda. Fuente: Elaboración propia.

2.3.3.4. Carga por ocupación

Uno de los focos de calor dentro de la vivienda es la propia presencia de personas. Estas tienen una temperatura corporal evidentemente superior a la del interior de la vivienda, generando por tanto una carga térmica.

Esta carga por ocupación resulta de la suma de la carga térmica latente y la carga térmica sensible liberada por los ocupantes en sus diferentes actividades diarias.

$$Q_{ocu} = 24 \times \sum n \times (C_{latente} + C_{sensible})$$

Siendo:

n el número de personas

$C_{latente}$ la media de calor latente liberado (Wh/pers)

$C_{sensible}$ la media de calor sensible liberado (Wh/pers)

Estos valores de calor latente y calor sensible aparecen en tablas como ésta que proporciona el IDAE.

Actividad metabólica		sensible	latente	
ACTIVIDAD		W	W	met
durmiendo		50	25	0,76
tumbado		55	30	0,86
sentado, sin trabajar		65	35	1,0
de pie, relajado		75	55	1,3
paseando		75	70	1,5
andando	a 1,6 km/h	50	110	1,6
	a 3,2 km/h	80	130	2,1
	a 4,8 km/h	110	180	2,9
	a 6,4 km/h	150	270	4,2
bailando moderadamente		90	160	2,5
atlética en gimnasio (hombres)		210	315	5,0
deporte de equipo masculino (valor medio)		290	430	6,9
trabajos:				
	muy ligero, sentado	70	45	1,2
	moderado (en oficinas; valor medio)	75	55	1,3
	sedentario (restaurante, incluidas comidas)	80	80	-
	ligera de pie (industria ligera, de compras etc.)	70	90	1,6
	media de pie (trabajos domésticos, tiendas etc.)	80	120	2,0
	manual	80	140	2,1
	ligero (en fábrica; sólo hombres)	110	185	2,8
	pesado (en fábrica; sólo hombres)	170	255	4,0
	muy pesado (en fábrica; sólo hombres)	185	285	4,5

Tabla 26. Calor latente y sensible por actividad metabólica de las personas. Fuente: IDAE.

Tenemos que hacer un promedio de carga total por persona, a partir de la estimación de un número determinado de horas dedicadas por actividad a lo largo del día.

	Durmiendo	Tumbado	Sentado	De pie	Andando	Fuera de casa	Promedio (Wh/pers)
W Sensible	50	55	65	75	75	-	40
W Latente	25	30	35	55	70	-	24
Horas	8	1	3	2	2	8	

Tabla 27. Promedio carga térmica por ocupación.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que estos valores de calor liberado varían en función del tamaño de la persona, por ello para mujeres y niños, añadiremos un factor de corrección de 0,85 y 0,75 respectivamente.

	n	Factor	Calor sensible	Calor latente	Q total (Wh/día)
Hombres	1	1	40	24	1535
Mujeres	1	0,85	34	21	1305
Niños	2	0,75	30	18	2303
					5142

Tabla 28. Carga térmica por ocupación.

La carga térmica tendrá aproximadamente, un valor constante de 5142 Wh/día a lo largo de todo el año. Esta liberación de calor favorecerá el ahorro de la bomba de calor en invierno y un mayor consumo en verano.

2.3.3.5. Carga por iluminación

Otra de las fuentes de calor en el interior de la vivienda es la iluminación. Para el cálculo de esta carga térmica podemos aplicar la siguiente formula:

$$Q_{ilu} = P_{req} \times S \times F_r \times F_u \times h$$

Siendo:

P_{req} la potencia de iluminación recomendada en una vivienda (W/m^2)

S la superficie de la vivienda (m^2)

F_r la fracción radiante

F_u el factor de utilización

h las horas medias de utilización diarias ($h/día$)

En el caso de nuestra vivienda optamos por una iluminación integra de LED, para lo cual se recomienda una distribución de 4 W/m².

La fracción radiante corresponde al porcentaje de energía eléctrica consumida por la bombilla que se desperdicia en forma de calor. Este valor es de 0,15 para el caso de bombillas LED, pero puede llegar hasta el 0,8 de las bombillas incandescentes tradicionales.

Por último, introducimos un valor de 6 horas de utilización media diaria combinada con un factor de utilización de 0,65, ya que no estarán encendidas simultáneamente todas las bombillas de la vivienda.

Considerando la superficie de 121 m² como se ha especificado para nuestra vivienda, obtenemos una carga térmica en forma de aporte de calor debido a la iluminación de 284,14 Wh/día.

2.3.3.6. Carga por otros aparatos eléctricos

Para el caso de los electrodomésticos, el concepto es similar al de la iluminación, en este caso la fórmula será:

$$Q_{elec} = P_{elec} \times F_r$$

Siendo:

P_{elec} la energía consumida por electrodomésticos en la vivienda (Wh/día)

F_r la fracción radiante

Para calcular la energía total diaria consumida por electrodomésticos partimos del dato de consumo eléctrico anual en viviendas, que para el caso de climas mediterráneos y viviendas unifamiliares se puede estimar en 10.000 kWh/año. Considerando que el consumo por electrodomésticos supone aproximadamente un 30% de este consumo eléctrico, obtenemos un valor de 8219 Wh/día.

Tomando en este caso un factor radiante medio de 0,08, la carga térmica en forma de aporte de calor por electrodomésticos será de 657,53 Wh/día.

Realizando el sumatorio de todas las cargas térmicas, nos queda la siguiente carga térmica total para cada mes:

	Carga térmica (kWh/día)
ENE	-41,25
FEB	-31,74
MAR	-22,23
ABR	-13,37
MAY	1,16
JUN	13,01
JUL	26,12
AGO	25,11
SEP	19,04
OCT	-4,11
NOV	-27,74
DIC	-38,05

Tabla 29. Carga térmica total en la vivienda. Bomba de calor. Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. Consumo eléctrico de la bomba de calor

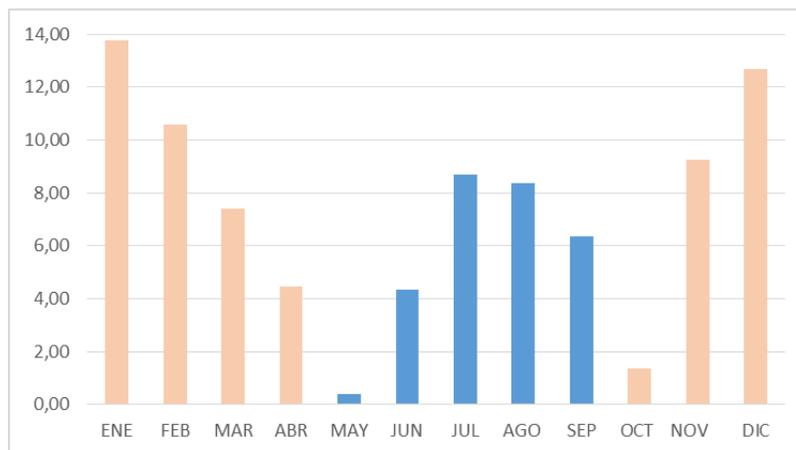
Una de las principales ventajas de las bombas de calor, es que tienen un rendimiento de a veces incluso el 400%, es decir, permite obtener mucha energía térmica sin apenas consumo eléctrico.

Para nuestro caso, vamos a considerar un COP constante de valor 3, siendo el consumo eléctrico en cada mes. [22]

	Consumo Eléctrico (kWh/día)
ENE	-13,75
FEB	-10,58
MAR	-7,41
ABR	-4,46
MAY	0,39
JUN	4,34
JUL	8,71
AGO	8,37
SEP	6,35
OCT	-1,37
NOV	-9,25
DIC	-12,68

Tabla 30. Consumo eléctrico de la bomba de calor. Fuente: Elaboración propia.

En forma gráfica:



Gráfica 4. Consumo eléctrico de la bomba de calor. Fuente: Elaboración propia.

Observamos que el mayor consumo por calentamiento tendrá lugar en enero, y el mayor consumo por enfriamiento en el mes de julio.

2.4. Consumo eléctrico total por cargas térmicas

El consumo eléctrico total que deberemos cubrir con la instalación del sistema de paneles fotovoltaicos será la suma del consumo correspondiente a las tres fuentes de cargas térmicas sobre las que hemos elaborado el estudio.

Mes	Termo electrico		Frigorifico		Bomba de calor		TOTAL (kWh/día)
Enero	9,232	39%	0,895	4%	13,751	58%	23,878
Febrero	9,093	44%	0,895	4%	10,580	51%	20,568
Marzo	8,953	52%	0,895	5%	7,411	43%	17,260
Abril	8,675	62%	0,895	6%	4,456	32%	14,026
Mayo	8,257	87%	0,895	9%	0,385	4%	9,537
Junio	7,978	60%	0,895	7%	4,338	33%	13,211
Julio	7,560	44%	0,895	5%	8,707	51%	17,162
Agosto	7,699	45%	0,895	5%	8,371	49%	16,966
Septiembre	7,978	52%	0,895	6%	6,346	42%	15,219
Octubre	8,396	79%	0,895	8%	1,369	13%	10,660
Noviembre	8,953	47%	0,895	5%	9,246	48%	19,094
Diciembre	9,232	40%	0,895	4%	12,683	56%	22,810

Tabla 31. Consumo eléctrico total por cargas térmicas. Fuente: Elaboración propia.

3. Dimensionamiento fotovoltaico

3.1. Esquema de la instalación

La forma de trabajar para evaluar este proyecto consistirá en ir analizando, dimensionando y verificando el uso de cada uno de los elementos de los que debe constar un sistema de energía fotovoltaica conectado a red. En el siguiente esquema aparecen detallados todos ellos, con su ubicación correspondiente:

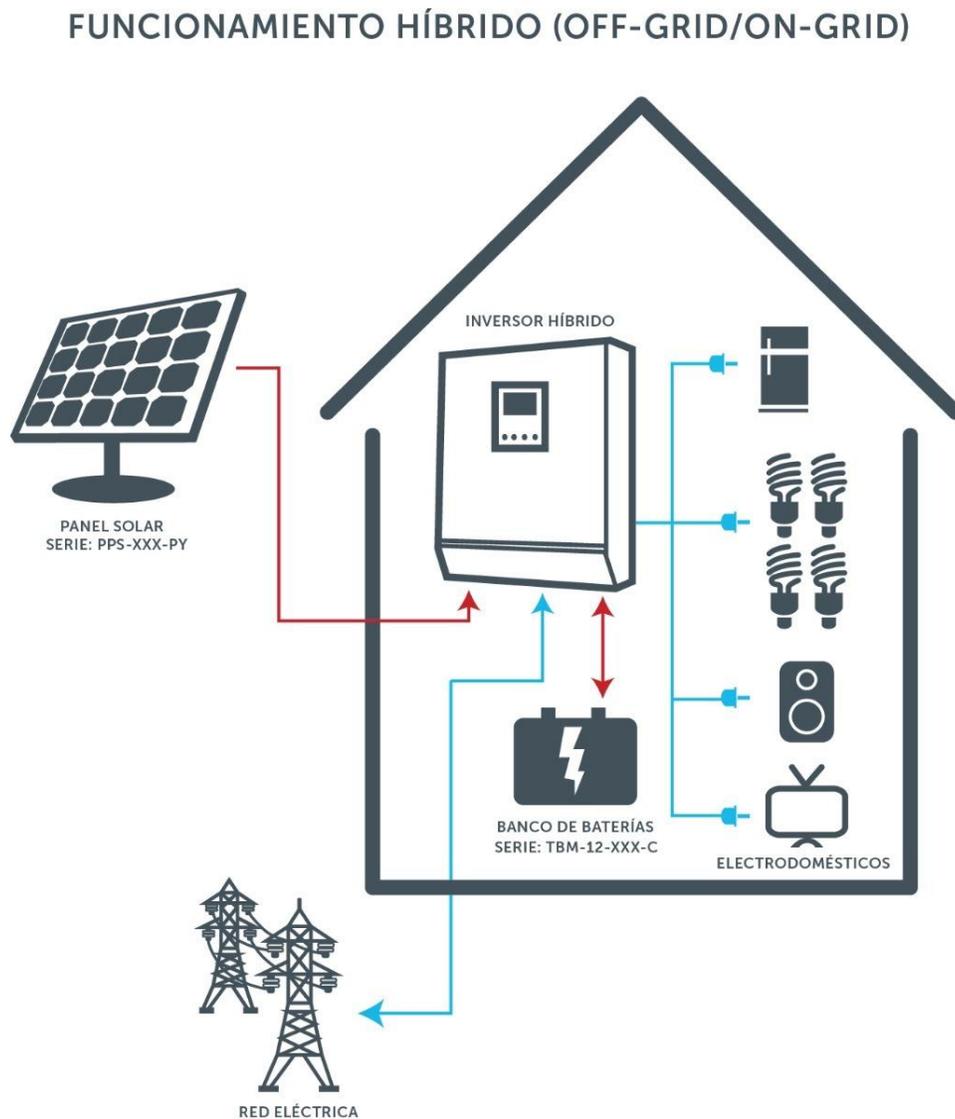


Figura 9. Esquema de instalación fotovoltaica conectada a red. Fuente: autoaolar.es

3.2. Orientación/Inclinación – Potencia a instalar

El primer paso para el dimensionamiento del sistema FV será determinar la morfología de nuestra instalación, es decir, la orientación geográfica (azimut) e inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Con ello obtendremos diferentes valores de producción de energía para cada mes, teniendo en cuenta los consumos eléctricos derivados de las cargas térmicas calculados anteriormente, analizaremos cual es la configuración más adecuada.

Aunque estos datos de radiación solar- producción pueden ser obtenidos a partir de bases de datos como la del IDAE, también existen múltiples softwares que nos permiten considerar de forma rápida los resultados obtenidos para varias configuraciones. En nuestro caso, hemos optado por el software PVGIS.

The screenshot shows the PVGIS software interface for configuring a grid-connected PV system. The main title is "PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV". The interface is divided into a sidebar on the left and a main configuration area on the right. The sidebar has several options: "GRID CONNECTED" (selected), "TRACKING PV", "OFF-GRID", "MONTHLY DATA", "DAILY DATA", "HOURLY DATA", and "TMY". The main configuration area includes the following fields and options:

- Solar radiation database*: PVGIS-SARAH
- PV technology*: Crystalline silicon
- Installed peak PV power [kWp]*: 1
- System loss [%]*: 14
- Fixed mounting options: Free-standing
- Mounting position*: Free-standing
- Slope [°]*: 30
- Azimuth [°]*: 0
- PV electricity price
- PV system cost (your currency): [input field]
- Interest [%/year]: [input field]
- Lifetime [years]: [input field]
- Optimize slope
- Optimize slope and azimuth

Figura 10. Configuración software PVGIS. Producción de instalación fotovoltaica de conexión a red. Fuente: PVGIS.

Inicialmente consideraremos la producción para una instalación de 1 kWp, para posteriormente dimensionar en función de las necesidades de consumo energético el tamaño de esta.

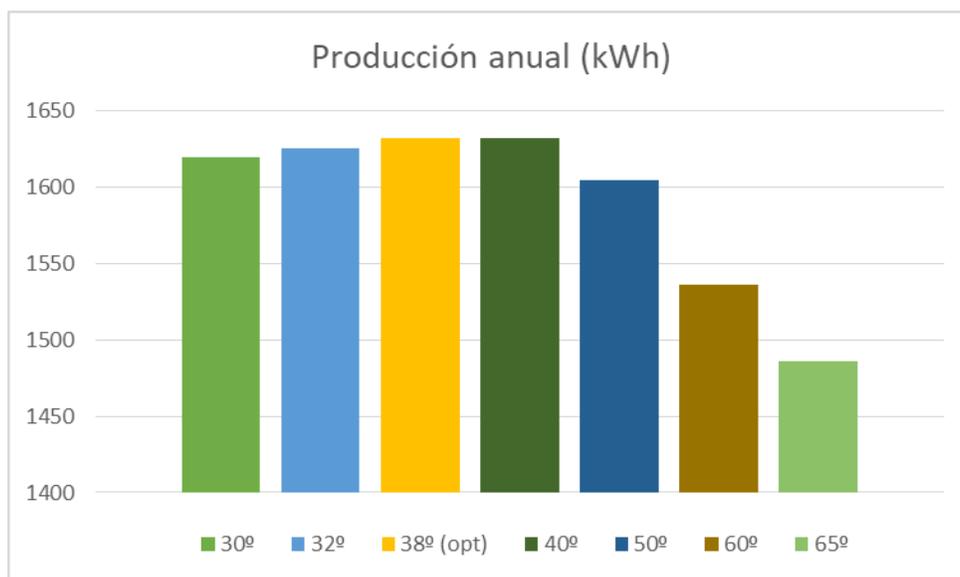
Como variables a tener en cuenta en el uso del software:

- Seleccionamos como ubicación en el mapa que aparece Zaragoza.
- Como base de datos utilizamos PVGIS-SARAH, existen varias y pueden presentar pequeñas variaciones en los resultados.
- El tipo de panel fotovoltaico a utilizar será de silicio cristalino.
- Las pérdidas del sistema debido al cableado y otros elementos podemos estimarlas en un 14%.
- El slope o inclinación de los paneles será el dato que podamos ir variando.
- El azimut lo consideramos de 0º, es decir, nuestra instalación tendrá orientación sur.

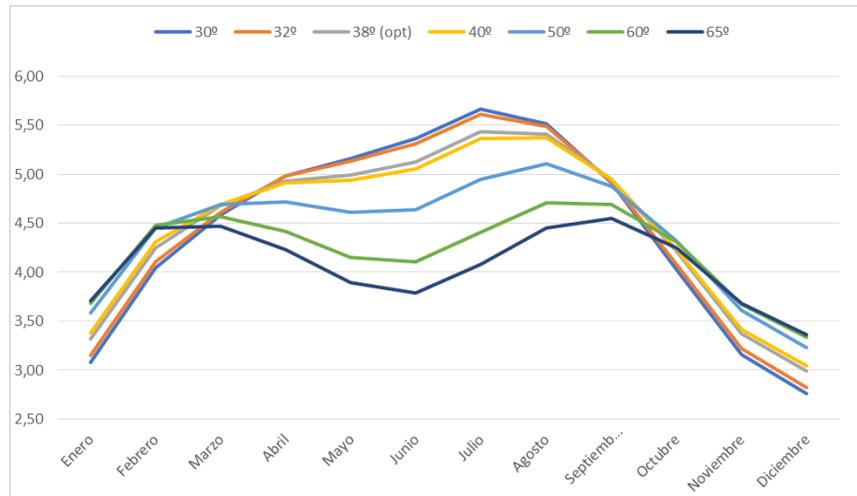
Con todo ello, obtenemos para los diferentes supuestos de inclinación de las placas los siguientes valores de producción. En ellos, el software tiene en cuenta otro tipo de pérdidas tales como las debidas a la temperatura o efectos espectrales. Además, también nos permite calcular de forma automática el valor de inclinación optimizado para el cual la producción anual total será mayor.

Producción (kWh/día)	30º	32º	38º (opt)	40º	50º	60º	65º
Enero	3,08	3,15	3,32	3,38	3,58	3,68	3,71
Febrero	4,04	4,11	4,25	4,31	4,45	4,48	4,45
Marzo	4,58	4,61	4,68	4,69	4,69	4,57	4,47
Abril	4,98	4,98	4,93	4,91	4,72	4,42	4,23
Mayo	5,16	5,13	4,99	4,94	4,61	4,15	3,89
Junio	5,36	5,31	5,12	5,05	4,64	4,11	3,79
Julio	5,66	5,61	5,43	5,36	4,95	4,41	4,08
Agosto	5,51	5,49	5,41	5,37	5,11	4,71	4,45
Septiembre	4,91	4,92	4,95	4,95	4,88	4,69	4,55
Octubre	4,03	4,08	4,21	4,23	4,32	4,31	4,25
Noviembre	3,16	3,22	3,37	3,42	3,61	3,67	3,68
Diciembre	2,76	2,82	2,99	3,04	3,23	3,34	3,36
Anual (kWh)	1619,66	1625,12	1632,39	1631,72	1604,36	1535,72	1486,39

Tabla 32. Producción eléctrica para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 5. Producción anual para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6. Producción diaria para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, debemos calcular el tamaño apropiado de la instalación para cubrir la demanda anual requerida de 6095,5 kWh. Mediante una simple regla de tres, obtenemos el valor de kWp a instalar para cada inclinación.

Inclinación	30°	32°	38° (opt)	40°	50°	60°	65°
Prod. Anual (kWh)	1619,66	1625,12	1632,39	1631,72	1604,36	1535,72	1486,39
Cons. Anual (kWh)	6095,5	6095,5	6095,5	6095,5	6095,5	6095,5	6095,5
Dim. kWp	3,76	3,75	3,73	3,74	3,80	3,97	4,10

Tabla 33. Potencia pico de la instalación requerida para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.

Repitiendo el proceso anterior en PVGIS, calculamos los nuevos valores de producción energética para las respectivas potencias instaladas.

Producción (kWh/día)	30°	32°	38° (opt)	40°	50°	60°	65°
Enero	11,08	11,29	11,83	12,06	12,96	13,92	14,43
Febrero	15,27	15,46	15,96	16,18	17,02	17,92	18,4
Marzo	17,23	17,31	17,46	17,56	17,84	18,16	18,34
Abril	18,59	18,52	18,27	18,22	17,81	17,41	17,19
Mayo	19,53	19,24	18,65	18,48	17,49	16,5	15,95
Junio	20,14	19,89	19,11	18,88	17,61	16,26	15,54
Julio	21,28	21,03	20,26	20,04	18,81	17,46	16,73
Agosto	20,67	20,54	20,12	20,03	19,33	18,61	18,21
Septiembre	18,33	18,35	18,37	18,42	18,45	18,52	18,54
Octubre	15,15	15,29	15,64	15,81	16,44	17,06	17,41
Noviembre	11,76	11,96	12,47	12,69	13,55	14,46	14,95
Diciembre	10,22	10,43	11,01	11,23	12,18	13,17	13,71
Anual (kWh)	6059,36	6063,35	6057,31	6070,85	6063,65	6062,6	6059,29

Tabla 34. Producción eléctrica para potencia pico concreta para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.

Por último, queda decidir cuál será la inclinación más adecuada para nuestra instalación, y por tanto la potencia pico a instalar. Resulta importante el criterio de obtener una alta producción a nivel anual, pero aún más el de nivelar al máximo esta producción, ya que precisamente en los meses de invierno donde esta es menor, el consumo es mucho mayor, lo que nos obligará a recurrir a energía de red.

Por tanto, interesa reducir al mínimo posible la energía de red tomada pero sin repercutir excesivamente sobre la producción anual. En la siguiente tabla se muestra la energía cedida o tomada de red para cada mes (en valores diarios).

(kWh/día)	30º	32º	38º (opt)	40º	50º	60º	65º
Enero	-12,80	-12,59	-12,05	-11,82	-10,92	-9,96	-9,45
Febrero	-5,30	-5,11	-4,61	-4,39	-3,55	-2,65	-2,17
Marzo	-0,03	0,05	0,20	0,30	0,58	0,90	1,08
Abril	4,56	4,49	4,24	4,19	3,78	3,38	3,16
Mayo	9,99	9,70	9,11	8,94	7,95	6,96	6,41
Junio	6,93	6,68	5,90	5,67	4,40	3,05	2,33
Julio	4,12	3,87	3,10	2,88	1,65	0,30	-0,43
Agosto	3,70	3,57	3,15	3,06	2,36	1,64	1,24
Septiembre	3,11	3,13	3,15	3,20	3,23	3,30	3,32
Octubre	4,49	4,63	4,98	5,15	5,78	6,40	6,75
Noviembre	-7,33	-7,13	-6,62	-6,40	-5,54	-4,63	-4,14
Diciembre	-12,59	-12,38	-11,80	-11,58	-10,63	-9,64	-9,10
Cedido a Red	36,9102611	36,13054	33,84054	33,40054	29,74054	25,94054	24,3026047
Tomado de Red	-38,049451	-37,20973	-35,07973	-34,18973	-30,63973	-26,87973	-25,291795

Tabla 35. Balance de energía diario para diferentes valores de inclinación. Fuente: Elaboración propia.

Cabe indicar que la tabla anterior tan solo refleja datos orientativos, ya que no estamos considerando aun el uso del sistema de acumulación, pero podemos utilizarla de referencia para elegir la inclinación más apropiada.

Aunque hay múltiples decisiones validas, optamos por una inclinación de 50º, ya que se logra una mayor producción en los meses críticos de invierno, sin perder excesiva eficiencia a nivel anual. Y sin tener que realizar un aumento considerable de la potencia pico a instalar.

Por tanto, deberemos dimensionar los diferentes elementos de la instalación para 3,8 kWp.

3.3. Inversor

Empezamos eligiendo el inversor, simplemente basta con encontrar en el mercado un modelo que se adapte a estas necesidades. En nuestro caso hemos optado por el inversor Fronius PRIMO GEN24 4.6 PLUS de 4,6 kW. Cabe destacar que se trata de un inversor monofásico, algo perfectamente aceptado al tratarse de una instalación menor de 5 kW, con dos seguidores independientes del punto de máxima potencia (MPPT), admitiendo un máximo 12 A de intensidad por cada uno. De la ficha técnica extraemos algunas de las características principales que utilizaremos para el dimensionamiento de la instalación. [ANEXO II]

$I_{dc-max} = 12 \text{ A}$; Máxima corriente de entrada

$U_{dc-max} = 600 \text{ V}$; Máxima tensión de entrada

$U_{mpp-min} - U_{mpp-max} = 65 - 530 \text{ V}$; Rango de tensión MPP

$P_{FV-max} = 6,9 \text{ kWp}$; Máxima salida del generador FV

$P_{ac} = 4,6 \text{ kW}$; Potencia nominal corriente alterna



The image is a promotional graphic for the Fronius Primo Gen24 Plus inverter. It features a white inverter unit on the right side, set against a background of a laptop keyboard. The main text reads "FRONIUS PRIMO GEN24 PLUS" in large, bold letters, followed by the subtitle "El inversor híbrido con función de energía de emergencia". Below this, there are six red icons with white symbols, each representing a feature: a Wi-Fi symbol for "Comunicación de datos integrada", a graph for "Seguimiento Inteligente GMPP", a circular arrow for "Tecnología Multi Flow", a compass for "Diseño SuperFlex", a lightning bolt for "Función de energía de emergencia", and a plug for "Red de emergencia básica del PV Point". At the bottom, a paragraph states: "Con categorías de potencia de 3,0 a 6,0 kW, el Fronius Primo GEN24 Plus es el inversor híbrido ideal para el hogar. Con numerosas características integradas, este dispositivo monofásico satisface perfectamente las necesidades de cada usuario."

Figura 11. Inversor Fronius Primo Gen24 Plus. Fuente: Ficha técnica.

En la web "Icide" (<https://icide.es>) podemos encontrarlo por 1970,29 euros.

3.4. Contador

Por otra parte, la instalación de este inversor híbrido Fronius requiere de un contador. Este permite registrar la curva de carga del hogar, gestionando así los flujos de energía de forma bidireccional. Podemos utilizar el Fronius Smart Meter 63A-1, monofásico y que admite hasta 63 A.

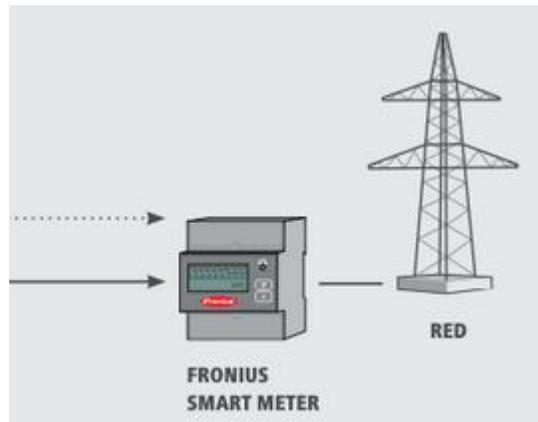


Figura 12. Esquema Fronius Smart Meter. Fuente: Ficha técnica.

Podemos encontrarlo en la web Mundosolar (<https://mundosolar.es>) por 109 euros.

3.5. Módulos FV

Paralelamente elegimos un modelo de módulos fotovoltaicos. Se puede optar por una gran variedad de modelos. Los que mayor rendimiento ofrecen son los denominados monocristalinos (se caracterizan por su color negro) seguidos de los policristalinos (de color azul). Estos primeros ofrecen una mayor eficiencia y rendimiento, y por ende una mayor inversión que se rentabiliza a medio-largo plazo. A su vez, estos paneles pueden ser de diferentes potencias. Vamos a analizar dos variedades distintas.

3.5.1. Módulo de tipo policristalino

El modelo AS-6P30 de Amerisolar de 24V, con una potencia de 250 Wp. [23] Algunas de las características a tener en cuenta son:

$P_{max} = 250 \text{ W}$; Potencia nominal

$U_{ca} = 38 \text{ V}$; Tensión en circuito abierto

$I_{cc} = 8,75 \text{ A}$; Intensidad de cortocircuito

$U_{pn} = 30,3 \text{ V}$; Tensión a potencia nominal

$I_{pn} = 8,26 \text{ A}$; Intensidad a potencia nominal

$\beta = -0,31 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$; Coeficiente de temperatura para tensión

Dado esto y consultando las fichas técnicas si fuera necesario, podemos proceder a dimensionar el tamaño de la instalación y comprobar su adecuación al inversor elegido.

El primer paso a llevar a cabo es calcular el rango de paneles totales que debemos colocar en la instalación para cubrir la demanda requerida.

Esta demanda es de 3800 kW a la salida del inversor, y por norma se recomienda que la potencia del campo de captación sea hasta 1,2 veces mayor. Por tanto esta deberá estar entre 3800 y 4560 Wp.

El número de paneles a colocar estará entre:

$$N_{min} = 3800 / 250 = 15,2 \approx 16 \text{ paneles}$$

$$N_{max} = 4560 / 250 = 18,24 \approx 18 \text{ paneles}$$

Por otra parte, comprobamos que inversor y módulos fotovoltaicos son compatibles. El inversor tiene 2 entradas que admiten un máximo de 12 A cada una. En la configuración de 24 V del módulo fotovoltaico la corriente de cortocircuito es de 8.75 A, por lo que podríamos colocar un string por cada entrada.

A continuación debemos calcular el número máximo y mínimo de módulos admitidos por string.

$$N_{s-max} = U_{max-inversor} / U_{ca (módulo-10^{\circ}C)}$$

Siendo:

$U_{max-inversor}$ la tensión máxima que admite el inversor

$U_{ca (módulo-10^{\circ}C)}$ la tensión en circuito abierto del modulo para las condiciones más desfavorables (-10°C)

Para calcular esta última:

$$U_{ca (módulo-10^{\circ}C)} = U_{ca} - \beta \times \Delta T$$

Siendo:

U_{ca} la tensión en circuito abierto del módulo

β coeficiente de variación de la tensión con la temperatura

ΔT incremento de temperatura respecto a condiciones normales

$$U_{ca (módulo-10^{\circ}C)} = 38 - (-0,31\% \times 38) \times (25 - (-10)) = 42,12 V$$

$$N_{s-max} = 600 / 42,12 = 14,24 \approx 14 \text{ módulos por string}$$

Por otra parte:

$$N_{s-min} = U_{min-pmp-inversor} / U_{mpp (módulo 70^{\circ}C)}$$

Siendo:

$U_{min-pmp-inversor}$ la tensión más baja del rango del seguidor de máxima potencia del inversor

$U_{mpp} (módulo 70^{\circ}C)$ la tensión de máxima potencia del modulo en las condiciones más cálidas

$$U_{mpp} (módulo 70^{\circ}C) = U_{mpp} - \beta \times \Delta T$$

Siendo:

U_{mpp} la tensión de máxima potencia del modulo

β coeficiente de variación de la tensión con la temperatura

ΔT incremento de temperatura respecto a condiciones normales

$$U_{mpp} (módulo 70^{\circ}C) = 30,3 - (-0,31 \times 30,3) \times (25 - 70) = 26,07 V$$

$$N_{s-min} = 65 / 26,07 = 2,49 \approx 3 \text{ módulos por string}$$

Dada la condición obtenida de utilizar entre 16 y 18 paneles, y de colocar entre 3 y 14 de ellos por cada string, optaremos por una configuración compuesta de 18 módulos y 2 strings, con 9 de ellos por cada una. De esta forma cumplimos también con los requisitos de intensidades mencionados anteriormente.

3.5.2. Módulo de tipo monocristalino

De mayor eficiencia, el modelo AS-5M de Amerisolar, de 24 V y con una potencia de 190 Wp. Algunas de las características a tener en cuenta son:

$P_{max} = 190 \text{ W}$; Potencia nominal

$U_{ca} = 45 \text{ V}$; Tensión en circuito abierto

$I_{cc} = 5,54 \text{ A}$; Intensidad de cortocircuito

$U_{pn} = 36,5 \text{ V}$; Tensión a potencia nominal

$I_{pn} = 5,21 \text{ A}$; Intensidad a potencia nominal

$\beta = -0,33 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$; Coeficiente de temperatura para tensión

Recurriendo a las fichas técnicas [Anexo III] si fuera necesario, considerando el mismo modelo de inversor, repetimos el proceso seguido anteriormente.

El número de paneles a colocar estará entre:

$$N_{min} = 3800/190 = 19,7 \approx 20 \text{ paneles}$$

$$N_{max} = 4560/190 = 24,0 \approx 24 \text{ paneles}$$

Seguidamente comprobamos que inversor y módulos fotovoltaicos son compatibles. El inversor tiene 2 entradas que admiten un máximo de 12 A cada una. En la configuración de 24 V del módulo fotovoltaico la corriente de cortocircuito es de 5,54 A, por lo que incluso podríamos colocar dos strings por cada entrada.

A continuación debemos calcular el número máximo y mínimo de módulos admitidos por string.

$$N_{s-max} = \frac{U_{max-inversor}}{U_{ca}(\text{módulo}-10^{\circ}\text{C})}$$

$$U_{ca}(\text{módulo}-10^{\circ}\text{C}) = U_{ca} - \beta \times \Delta T$$

$$U_{ca} (\text{módulo } -10^{\circ}\text{C}) = 45 - (-0,33\% \times 45) \times (25 - (-10)) = 50,19 \text{ V}$$

$$N_{s-max} = 600 / 50,19 = 11,95 \approx 11 \text{ módulos por string}$$

Por otra parte:

$$N_{s-min} = U_{min-pmp-inversor} / U_{mpp} (\text{módulo } 70^{\circ}\text{C})$$

$$U_{mpp} (\text{módulo } 70^{\circ}\text{C}) = U_{mpp} - \beta \times \Delta T$$

$$U_{mpp} (\text{módulo } 70^{\circ}\text{C}) = 36,5 - (-0,33 \times 36,5) \times (25 - 70) = 31,07 \text{ V}$$

$$N_{s-min} = 65 / 31,07 = 2,09 \approx 3 \text{ módulos por string}$$

Dadas las condiciones de utilizar entre 20 y 24 paneles, y de colocar entre 3 y 11 de ellos por cada string, optaremos por una configuración compuesta de 22 módulos y 2 strings, con 11 de ellos por cada uno. De esta forma cumplimos también con los requisitos de intensidades mencionados anteriormente.



Figura 13. Módulo monocristalino AS-5M. Fuente: Elaboración propia.

Podemos encontrarlos en el distribuidor “Merkasolar” (<https://www.merkasol.com/>) por 145,20 €/unidad. Al ser un total de 22 módulos, el coste ascendería a 3194,40 €.

3.6. Distribución física

Colocaremos los módulos sobre el tejado de la vivienda, en la vertiente de orientación sur. Este tejado tiene una inclinación de $29,25^\circ$, por lo que será necesario disponer de una estructura metálica que confiera a las placas la inclinación de 50° buscada. Básicamente debemos considerar la dimensión de los módulos fotovoltaicos, indicada en su ficha técnica, para comprobar la viabilidad de esta instalación.

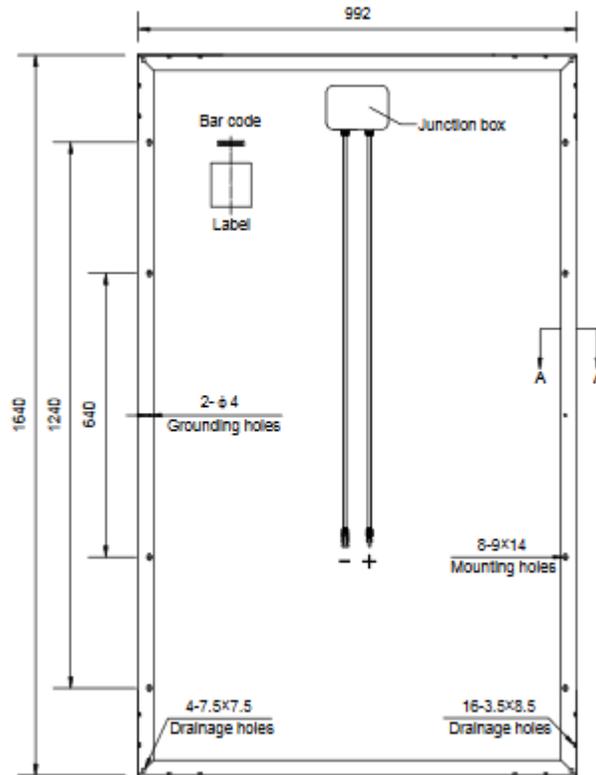


Figura 14. Dimensiones del modulo AS-5M. Fuente: Ficha técnica.

Las medidas a tener en cuenta son el ancho y largo de cada módulo, 992 mm y 1640 mm. Esto y las dimensiones de nuestro tejado, posibilitaran perfectamente la instalación de los 22 módulos. Entre otros aspectos, deberemos tener en cuenta la posibilidad de que un conjunto de módulos provoque sombra sobre el otro, por lo que los colocaremos con una separación adecuada. Todo el cableado deriva en una caja situada en el lateral de la vivienda donde se encuentran los diferentes elementos del sistema fotovoltaico.

Gráficamente la configuración utilizada con las cotas más determinantes quedaría:

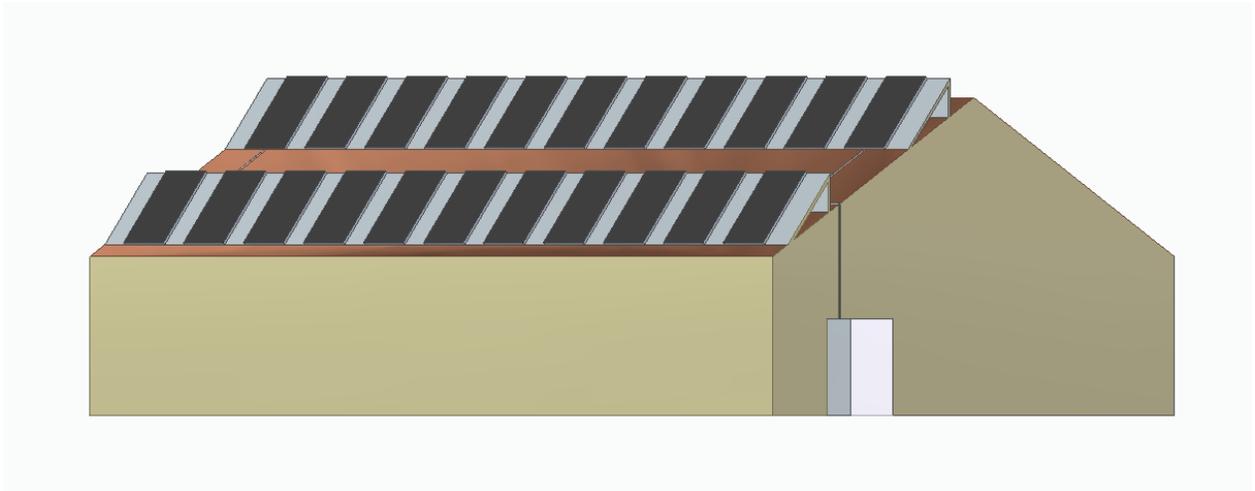


Figura 15. Vivienda. Fuente: Elaboración propia (Software: SolidEdge).

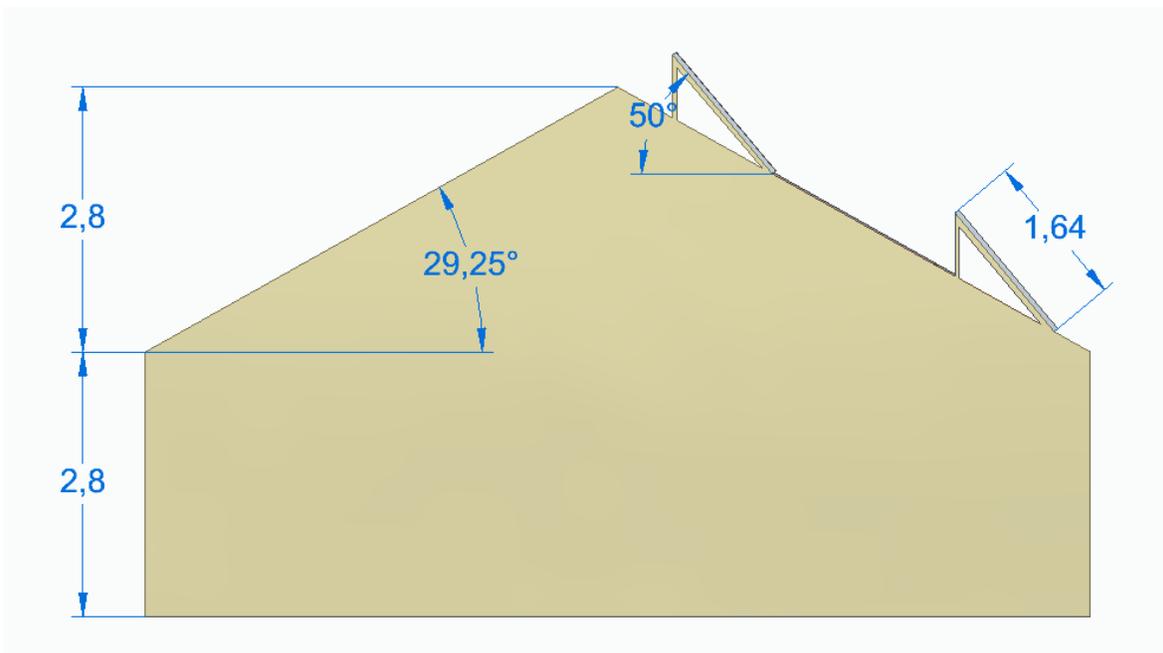


Figura 16. Perfil de la vivienda. Fuente: Elaboración propia (Software: SolidEdge).

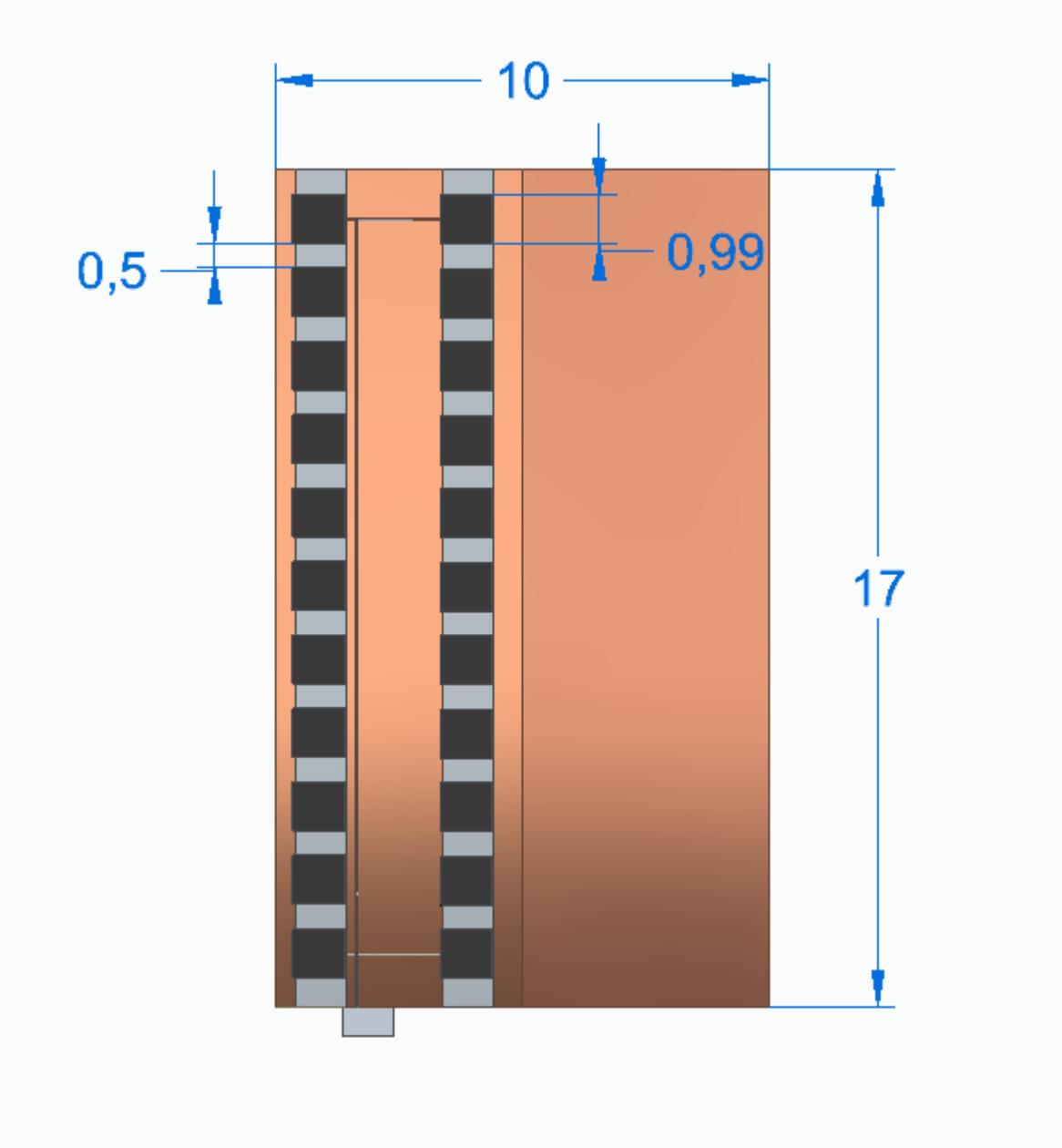


Figura 17. Planta de la vivienda. Fuente: Elaboración propia (Software: SolidEdge).

3.7. Protecciones

El IDAE indica en su apartado 5.8.1 que “Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 11) sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión”. [24] [25]

Recurriendo a este Real Decreto, los elementos de protección requeridos en la instalación. Son los siguientes:

1. Interruptor general manual, que será un interruptor magneto térmico con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión.
2. Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte continua de la instalación.
3. Interruptor automático de la interconexión, para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento.
4. Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 y 49 Hz, respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 y 0,85 Um, respectivamente).

Podrán integrarse en el equipo inversor las funciones de protección de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia y en tal caso las maniobras automáticas de desconexión-conexión serán realizadas por éste. En este caso sólo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones de interruptor general manual y de interruptor automático diferencial.

Atendiendo a la legislación y para integrar todos estos elementos, podemos elaborar nuestro propio cuadro de protecciones, que constará de:

- Protecciones de corriente alterna (zona del inversor):
 - a) Interruptor magnetotérmico:

Para la protección contra sobrecargas y cortocircuitos. Siendo la corriente de salida del inversor de 17,4 A, seleccionamos el modelo ABB SH202-C20 que limita la corriente a 20 A. Su precio es de 14,22 €.



Figura 18. Interruptor magnetotérmico ABB SH202-C20. Fuente: ABB.com.

b) Interruptor diferencial:

Elegimos el Interruptor Diferencial Residencial 2P-300mA-Clase AC-10kA de la marca Maxge, con una limitación de 25 A. Su precio es de 18,95 €.



Figura 19. Interruptor diferencial 2P-300mA-Clase AC Maxge. Fuente: EfectoLED.com.

c) Protección de sobretensión:

Elegimos el modelo CS21-15/230 de Cirprotec. Su precio es de 22 €.



Figura 20. Protector CS21-15 de Cirprotec. Fuente: Eriacomponentes.es.

- Protecciones de corriente continua (zona de los módulos):

a) Disyuntor térmico:

La corriente de cortocircuito de cada string es de 5,54 A, 11,08 A en total. Elegimos un modelo de interruptor magnetotérmico Schneider Electric A9N61531 con una intensidad límite de 16 A. Su precio es de 30,79 €.



Figura 21. Interruptor magnetotérmico Schneider A9N61531. Fuente: SE.com.

b) Protección atmosférica (contra rayos):

Utilizamos el modelo de dispositivo de protección contra sobretensiones 2P 1000V DC de la marca Vykie. SU precio es de 22,09 €.



Figura 22. Protector atmosférico Vykie. Fuente: Amazon.com.

Todos estos elementos son acoplables mediante un riel de guía estándar en su respectivo cuadro eléctrico, uno para AC y otro para DC. Utilizamos el modelo FAMATEL Acqua de 12 módulos. Su precio es de 13,99 €.



Figura 23. Caja para cuadro eléctrico Famatel Acqua. Fuente: LeroyMerlin.

El coste total de todos los elementos de protección sería de 136,03 €.

3.8. Baterías

3.8.1. Modelización consumo-producción por horas

Para dimensionar esta parte, vamos a llevar a cabo un estudio económico y energético que nos permita valorar en cómputos generales la mejor solución, pues las baterías se tratan de uno de los elementos de mayor coste de la instalación. Para realizar un análisis más preciso, tomaremos los datos de consumo y producción por horas en vez de por días como veníamos haciendo hasta ahora.

Primeramente, habiendo considerado para cada hora un determinado porcentaje del consumo total por cada una de las cargas térmicas, obtenemos el consumo eléctrico por horas en un día medio de cada mes.

Los porcentajes utilizados varían en función del momento del día, y de la época del año. Por ejemplo, mientras el frigorífico tiene un consumo prácticamente constante durante las 24 horas, la bomba de calor se emplea aproximadamente entre 10 de la mañana y 12 de la noche, y el aire acondicionado principalmente durante las horas de más calor, a partir de las 12 de la mañana. En el caso del termo eléctrico, su consumo se concentra en pequeñas franjas, donde es más común el uso de la ducha, lavavajillas o lavadora.

De esta forma, la mayor parte del consumo eléctrico aparecerá durante el día, mientras que por la noche este será prácticamente nulo.

La demanda de energía eléctrica por horas atendiendo a estos porcentajes quedaría como:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00:00	0,588	0,520	0,453	0,385	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,315	0,489	0,566
1:00:00	0,313	0,309	0,304	0,296	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,288	0,304	0,313
2:00:00	0,313	0,309	0,304	0,296	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,288	0,304	0,313
3:00:00	0,313	0,309	0,304	0,296	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,288	0,304	0,313
4:00:00	0,313	0,309	0,304	0,296	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,288	0,304	0,313
5:00:00	0,313	0,309	0,304	0,296	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,288	0,304	0,313
6:00:00	0,313	0,309	0,304	0,296	0,284	0,275	0,263	0,267	0,275	0,288	0,304	0,313
7:00:00	0,405	0,400	0,394	0,383	0,366	0,355	0,338	0,344	0,355	0,372	0,394	0,405
8:00:00	0,594	0,586	0,577	0,561	0,536	0,519	0,494	0,502	0,519	0,544	0,577	0,594
9:00:00	0,779	0,768	0,757	0,734	0,701	0,679	0,645	0,656	0,679	0,712	0,757	0,779
10:00:00	1,552	1,322	1,092	0,868	0,531	0,514	0,489	0,498	0,514	0,635	1,220	1,478
11:00:00	1,368	1,140	0,913	0,695	0,366	0,355	0,338	0,344	0,355	0,467	1,041	1,293
12:00:00	1,275	1,049	0,823	0,608	0,299	0,449	0,611	0,602	0,529	0,384	0,952	1,201
13:00:00	1,275	1,049	0,823	0,608	0,314	0,622	0,959	0,936	0,783	0,384	0,952	1,201
14:00:00	1,280	1,054	0,828	0,612	0,319	0,627	0,964	0,941	0,787	0,388	0,956	1,205
15:00:00	1,372	1,145	0,917	0,699	0,401	0,706	1,039	1,018	0,867	0,472	1,046	1,297
16:00:00	1,372	1,145	0,917	0,699	0,401	0,706	1,039	1,018	0,867	0,472	1,046	1,297
17:00:00	1,368	1,140	0,913	0,695	0,397	0,702	1,035	1,013	0,863	0,467	1,041	1,293
18:00:00	1,368	1,140	0,913	0,695	0,397	0,702	1,035	1,013	0,863	0,467	1,041	1,293
19:00:00	1,368	1,140	0,913	0,695	0,389	0,615	0,861	0,846	0,736	0,467	1,041	1,293
20:00:00	1,372	1,145	0,917	0,699	0,394	0,620	0,865	0,851	0,740	0,472	1,046	1,297
21:00:00	1,741	1,508	1,275	1,046	0,716	0,852	0,993	0,991	0,932	0,808	1,404	1,667
22:00:00	1,557	1,326	1,096	0,873	0,551	0,692	0,842	0,837	0,773	0,640	1,225	1,482
23:00:00	1,368	1,140	0,913	0,695	0,381	0,528	0,686	0,679	0,609	0,467	1,041	1,293
	23,878	20,568	17,260	14,026	9,537	13,211	17,162	16,966	15,219	10,660	19,094	22,810

Tabla 36. Consumo eléctrico por horas para cada mes. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, al igual que la demanda, deberemos modelizar la producción de energía eléctrica que nos proporcionan los módulos por horas. Para ello recurrimos de nuevo a la plataforma PVGIS, de donde en el apartado “Average daily irradiance data” podemos extraer la radiación solar por horas para nuestra localización, y la inclinación-orientación seleccionada para nuestras placas, así como la temperatura media por horas, todo para un día tipo de cada mes.

Figura 24. Configuración software PVGIS. Radiación solar diaria. Fuente: PVGIS.

Finalmente, para transformar esta radiación en energía eléctrica producida por los módulos, podemos utilizar las siguientes fórmulas. Estas tienen en cuenta la pérdida de rendimiento por efecto de la temperatura, siendo a partir de 40°C cuando estas pérdidas se hacen más notables.

$$P_m = P_{pico} \times \frac{G}{G_{stc}} \times [1 - \gamma(T_c - 25)]$$

Siendo:

P_{pico} la potencia pico de paneles instalados (kWp)

G la radiación solar incidente

G_{stc} la constante de radiación en STC (W/m²)

γ el coeficiente de variación de potencia con la temperatura

T_c la temperatura que alcanza el módulo

Esta última la calculamos con la siguiente fórmula:

$$T_c = T_a + \frac{TONC - 20}{800} G$$

Siendo:

T_a la temperatura ambiente extraída de PVGIS

$TONC$ la temperatura de operación nominal de la célula

G la radiación solar incidente

De estos datos, extraemos G y T_a del PVGIS, siendo valores diferentes para cada hora del día tipo de cada mes.

La potencia pico instalada será, tal y como hemos comentado antes:

$$P_{pico} = 190 \text{ Wp} \times 22 \text{ paneles} = 4,18 \text{ kWp}$$

Por últimos, extraeremos de la ficha técnica de nuestro modelo de placa FV el resto de datos:

$$TONC = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 0,0043 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Hemos creado un modelo Excel donde se aplican estas fórmulas. Para el caso por ejemplo del mes de enero, su tabla respectiva quedaría:

Enero						
Horas	Irradiancia global kWh/m2	Temperatura ambiente	Temperatura media del módulo	Potencia media kW	Energía kWh	
0:00	0	6,04	6,04	0,00	0,00	
1:00	0	5,94	5,94	0,00	0,00	
2:00	0	5,74	5,74	0,00	0,00	
3:00	0	5,54	5,54	0,00	0,00	
4:00	0	5,35	5,35	0,00	0,00	
5:00	0	5,18	5,18	0,00	0,00	
6:00	0	5,01	5,01	0,00	0,00	
7:00	0	4,84	4,84	0,00	0,00	
8:00	0	5,38	5,38	0,00	0,00	
9:00	155,23	5,91	10,76	0,69	0,69	
10:00	366,87	6,45	17,91	1,58	1,58	
11:00	528,16	7,65	24,16	2,22	2,22	
12:00	633,98	8,86	28,67	2,61	2,61	
13:00	680,99	10,07	31,35	2,77	2,77	
14:00	662,21	10,42	31,11	2,70	2,70	
15:00	545,79	10,76	27,82	2,25	2,25	
16:00	414,83	11,11	24,07	1,74	1,74	
17:00	188,77	10,03	15,93	0,82	0,82	
18:00	0,02	8,94	8,94	0,00	0,00	
19:00	0	7,85	7,85	0,00	0,00	
20:00	0	7,35	7,35	0,00	0,00	
21:00	0	6,84	6,84	0,00	0,00	
22:00	0	6,34	6,34	0,00	0,00	
23:00	0	6,19	6,19	0,00	0,00	
Total (kWh/día)						17,37

Tabla 37. Producción eléctrica por horas para el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.

Así obtenemos las respectivas tablas para cada mes. Por último, tendremos en cuenta un 14% de pérdidas (debidas al inversor). Volcando estos resultados sobre una nueva tabla obtenemos la producción horaria de energía eléctrica para un día tipo de cada mes.

Generada	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7:00:00	0,000	0,000	0,001	0,000	0,039	0,085	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8:00:00	0,000	0,032	0,427	0,122	0,220	0,250	0,214	0,147	0,061	0,000	0,072	0,000
9:00:00	0,592	0,930	1,210	0,693	0,768	0,761	0,723	0,700	0,672	0,523	0,983	0,697
10:00:00	1,359	1,713	1,884	1,324	1,389	1,393	1,395	1,388	1,392	1,276	1,540	1,379
11:00:00	1,906	2,267	2,429	1,969	1,959	1,920	1,996	2,009	2,044	1,817	1,990	1,839
12:00:00	2,243	2,573	2,725	2,385	2,319	2,316	2,456	2,470	2,529	2,353	2,299	2,167
13:00:00	2,381	2,731	2,663	2,702	2,512	2,546	2,725	2,733	2,818	2,654	2,406	2,243
14:00:00	2,318	2,670	2,637	2,724	2,572	2,625	2,809	2,802	2,844	2,633	2,243	2,092
15:00:00	1,938	2,408	2,311	2,614	2,465	2,498	2,645	2,668	2,718	2,521	1,823	1,766
16:00:00	1,497	1,883	1,867	2,232	2,191	2,163	2,352	2,338	2,313	2,085	1,273	1,285
17:00:00	0,705	1,164	1,256	1,775	1,726	1,710	1,881	1,881	1,818	1,570	0,527	0,448
18:00:00	0,000	0,184	0,522	1,211	1,135	1,153	1,286	1,298	1,162	0,830	0,000	0,000
19:00:00	0,000	0,000	0,002	0,559	0,536	0,552	0,667	0,624	0,462	0,064	0,000	0,000
20:00:00	0,000	0,000	0,000	0,084	0,161	0,205	0,205	0,133	0,008	0,000	0,000	0,000
21:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,049	0,043	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
22:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23:00:00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	14,939	18,554	19,935	20,393	19,995	20,227	21,440	21,193	20,841	18,326	15,156	13,916

Tabla 38. Producción eléctrica por horas para cada mes. Fuente: Elaboración propia.

Siendo la energía eléctrica producida al cabo del año:

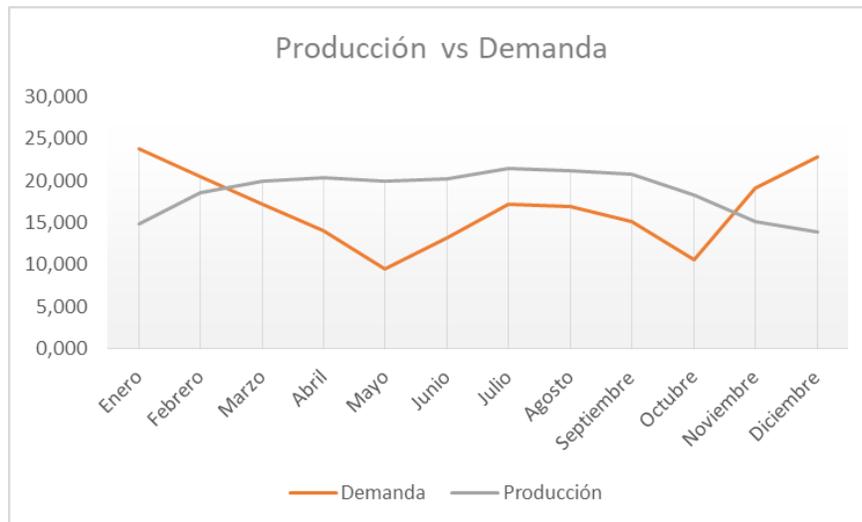
	Total día (kWh)	Total día con pérdidas (kWh)	Total mes con pérdidas (kWh)
Enero	17,37	14,94	463,12
Febrero	21,57	18,55	519,53
Marzo	23,18	19,94	618,00
Abril	23,71	20,39	611,79
Mayo	23,25	19,99	619,83
Junio	23,52	20,23	606,80
Julio	24,93	21,44	664,65
Agosto	24,64	21,19	656,98
Septiembre	24,23	20,84	625,22
Octubre	21,31	18,33	568,09
Noviembre	17,62	15,16	454,67
Diciembre	16,18	13,92	431,39
AÑO			6840,07

Tabla 39. Producción eléctrica mensual y anual. Fuente: Elaboración propia.

Observamos que, al haber sobredimensionado un poco el sistema, instalando placas fotovoltaicas de una potencia total de 4,18 kWp en vez de los 3,8 kWp teóricos para prever posibles pérdidas, la energía eléctrica total producida a lo largo del año será algo superior al consumo estimado. De esta forma nos queda un sizing factor (K) mayor que uno.

$$K = \text{Generada} / \text{Consumida} = 6840 / 6095 = 1,12$$

Sin embargo, podemos apreciar que este balance de producción-demanda está descompensado según el mes del año. En los meses de invierno, donde la demanda es la más elevada, coincide con la menor producción de energía eléctrica. Al contrario, en los meses de verano, donde la producción es superior a la de los meses invernales, la demanda se mantiene en niveles medios.



Gráfica 7. Producción vs Demanda para cada mes. Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar esto más claramente calculando el sizing factor resultante para cada mes.

Mes	Sizing Factor
Enero	0,63
Febrero	0,90
Marzo	1,16
Abril	1,45
Mayo	2,10
Junio	1,53
Julio	1,25
Agosto	1,25
Septiembre	1,37
Octubre	1,72
Noviembre	0,79
Diciembre	0,61

Tabla 40. Sizing factor para cada mes. Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Dimensionamiento de baterías

Teniendo ya los datos de demanda y producción de energía eléctrica por horas, podemos comenzar a estudiar la idoneidad de colocar baterías considerando dos posibilidades:

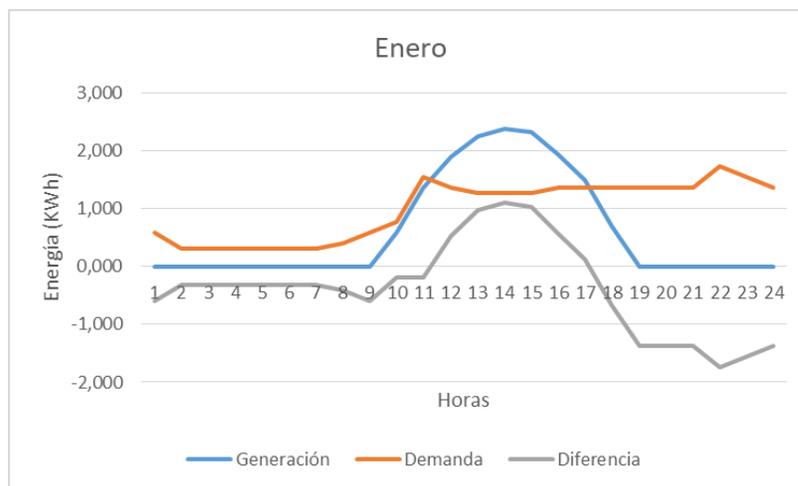
1) Sin sistema de almacenamiento

Por tanto, únicamente debemos realizar el balance por horas entre la energía demandada y la energía generada.

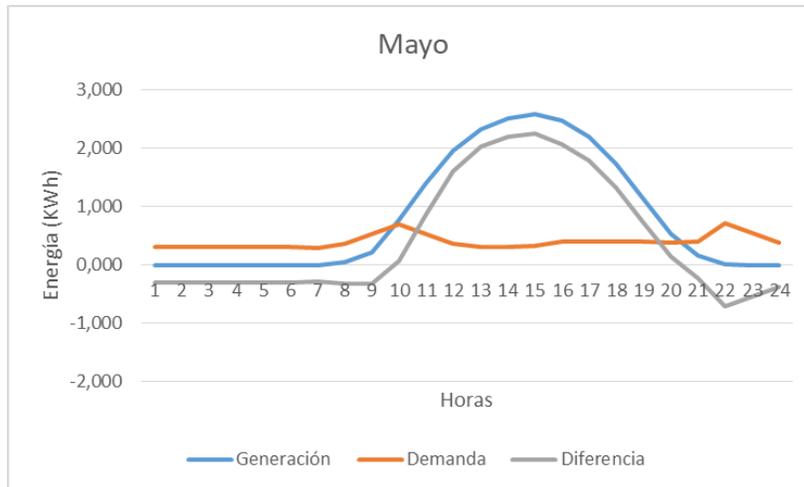
Consumo-Generada(kWh)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0:00:00	-0,59	-0,52	-0,45	-0,39	-0,30	-0,45	-0,61	-0,60	-0,53	-0,32	-0,49	-0,57
1:00:00	-0,31	-0,31	-0,30	-0,30	-0,30	-0,45	-0,61	-0,60	-0,53	-0,29	-0,30	-0,31
2:00:00	-0,31	-0,31	-0,30	-0,30	-0,30	-0,45	-0,61	-0,60	-0,53	-0,29	-0,30	-0,31
3:00:00	-0,31	-0,31	-0,30	-0,30	-0,30	-0,45	-0,61	-0,60	-0,53	-0,29	-0,30	-0,31
4:00:00	-0,31	-0,31	-0,30	-0,30	-0,30	-0,45	-0,61	-0,60	-0,53	-0,29	-0,30	-0,31
5:00:00	-0,31	-0,31	-0,30	-0,30	-0,30	-0,45	-0,61	-0,60	-0,53	-0,29	-0,30	-0,31
6:00:00	-0,31	-0,31	-0,30	-0,30	-0,28	-0,28	-0,26	-0,27	-0,28	-0,29	-0,30	-0,31
7:00:00	-0,41	-0,40	-0,39	-0,38	-0,33	-0,27	-0,30	-0,34	-0,35	-0,37	-0,39	-0,41
8:00:00	-0,59	-0,55	-0,15	-0,44	-0,32	-0,27	-0,28	-0,36	-0,46	-0,54	-0,51	-0,59
9:00:00	-0,19	0,16	0,45	-0,04	0,07	0,08	0,08	0,04	-0,01	-0,19	0,23	-0,08
10:00:00	-0,19	0,39	0,79	0,46	0,86	0,88	0,91	0,89	0,88	0,64	0,32	-0,10
11:00:00	0,54	1,13	1,52	1,27	1,59	1,57	1,66	1,66	1,69	1,35	0,95	0,55
12:00:00	0,97	1,52	1,90	1,78	2,02	1,87	1,85	1,87	2,00	1,97	1,35	0,97
13:00:00	1,11	1,68	1,84	2,09	2,20	1,92	1,77	1,80	2,04	2,27	1,45	1,04
14:00:00	1,04	1,62	1,81	2,11	2,25	2,00	1,84	1,86	2,06	2,25	1,29	0,89
15:00:00	0,57	1,26	1,39	1,91	2,06	1,79	1,61	1,65	1,85	2,05	0,78	0,47
16:00:00	0,13	0,74	0,95	1,53	1,79	1,46	1,31	1,32	1,45	1,61	0,23	-0,01
17:00:00	-0,66	0,02	0,34	1,08	1,33	1,01	0,85	0,87	0,96	1,10	-0,51	-0,85
18:00:00	-1,37	-0,96	-0,39	0,52	0,74	0,45	0,25	0,28	0,30	0,36	-1,04	-1,29
19:00:00	-1,37	-1,14	-0,91	-0,14	0,15	-0,06	-0,19	-0,22	-0,27	-0,40	-1,04	-1,29
20:00:00	-1,37	-1,14	-0,92	-0,62	-0,23	-0,42	-0,66	-0,72	-0,73	-0,47	-1,05	-1,30
21:00:00	-1,74	-1,51	-1,28	-1,05	-0,71	-0,80	-0,95	-0,99	-0,93	-0,81	-1,40	-1,67
22:00:00	-1,56	-1,33	-1,10	-0,87	-0,55	-0,69	-0,84	-0,84	-0,77	-0,64	-1,22	-1,48
23:00:00	-1,37	-1,14	-0,91	-0,69	-0,38	-0,53	-0,69	-0,68	-0,61	-0,47	-1,04	-1,29

Tabla 41. Balance energético por horas sin sistema de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.

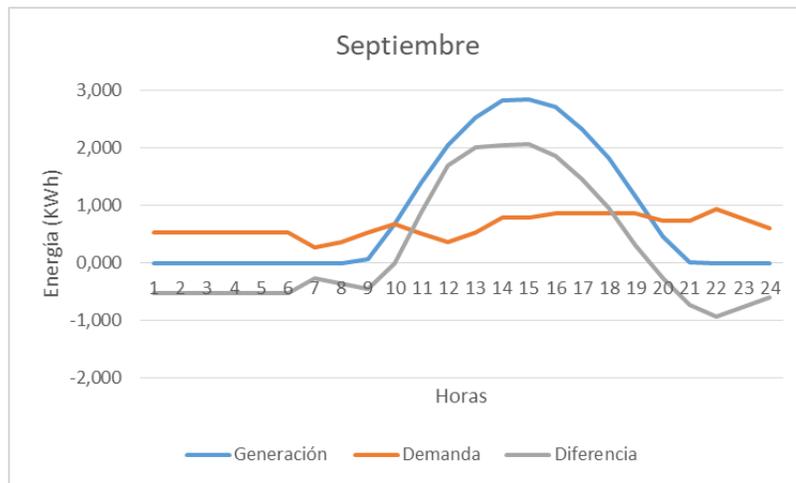
Gráficamente, la evolución a lo largo del día, queda representada de la siguiente forma. Siendo la diferencia la que indica la energía eléctrica sobrante, es decir, inyectada a la red, en caso de ser positiva (verde). Y el déficit de energía, es decir, la que ha de ser absorbida de la red, cuando esta es negativa (amarillo).



Gráfica 8. Generación vs Demanda por horas para el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 9. Generación vs Demanda por horas para el mes de mayo. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 10. Generación vs Demanda por horas para el mes de septiembre. Fuente: Elaboración propia.

Aglutinando todos estos valores horarios de energía absorbida o inyectada, obtenemos el balance de energía para el día tipo de cada mes, así como el balance mensual y anual.

Datos diarios (kWh/día)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Absorbida de la red	13,28	10,54	8,33	6,39	4,60	6,01	7,84	8,02	7,59	5,94	10,53	12,81
Inyectada a la red	4,34	8,53	11,00	12,76	15,06	13,02	12,12	12,25	13,21	13,60	6,59	3,91

Tabla 42. Balance energía eléctrica diario para cada mes. Fuente: Elaboración propia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual (kWh/año)
Absorbida de la red	411,65	295,14	258,08	191,69	142,53	180,23	242,95	248,64	227,63	184,03	315,78	396,96	3095,31
Inyectada a la red	134,57	238,76	341,02	382,72	466,72	390,72	375,57	379,68	396,29	421,65	197,62	121,24	3846,56

Tabla 43. Balance de energía eléctrica mensual y anual. Fuente: Elaboración propia.

2) Con sistema de almacenamiento.

Este se puede emplear de diversas maneras, en nuestro caso el funcionamiento queda explicado de la siguiente manera:

- Si la energía generada es mayor a la energía consumida, es decir, tenemos excedente:
 - a) La batería no está totalmente cargada (SOC<100%): Se carga la batería.
 - b) La batería está totalmente cargada (SOC=100%): Se inyecta energía a la red.

- Si la energía generada es menor a la energía consumida, es decir, tenemos déficit:
 - a) La batería esta descargada (SOC=20%): Extraemos energía de la red.
 - b) La batería está cargada por encima de su valor mínimo (SOC>20%): Extraemos energía de la batería.

Debemos dimensionar de alguna manera la capacidad de almacenamiento de nuestro sistema, para ello partiremos de la siguiente formula, siendo "E" la capacidad de las baterías.

$$E_{batería-max} = \frac{110 \times C_t \times D_{autonomía}}{DOD}$$

Siendo:

C_t el consumo medio diario (Wh/día)

$D_{autonomía}$ los días de autonomía

DOD la profundidad de descarga de las baterías (%)

Debemos dar valor a estas dos últimas variables. Por una parte, hay que tener en cuenta que en el caso de baterías electroquímicas no es conveniente descargarlas en su totalidad, ya que esto repercutiría negativamente sobre su vida útil. Es por ello que en función del tipo de tecnología de la batería, se asume una determinada profundidad de descarga (DOD). Por ejemplo, para el caso de baterías de plomo ácido, se recomienda una DOD no superior al 60%, mientras que para baterías de ion-litio se puede aceptar hasta un 80%. Este será el valor que tomemos.

En cuanto a los días de autonomía, el valor a considerar depende de la aplicación que se le vaya a dar al sistema fotovoltaico. Para electrificación doméstica sin conexión a red, se suelen considerar entre 4 y 6 días, haciendo referencia con ello al número de días que sería factible que en un momento determinado las condiciones climáticas causen una irradiación solar muy por debajo de la media. Para el caso de aplicaciones industriales, se pueden considerar hasta 10 días de autonomía. Siendo el caso de una instalación fotovoltaica de conexión a red, su función es la de cubrir las pequeñas necesidades

por horas, por ejemplo, las que se dan por la noche. Así pues podemos establecer una autonomía por debajo de un día.

Aplicaremos la fórmula para diversos valores de $D_{autonomía}$ y posteriormente valoraremos la idoneidad de cada valor de capacidad de la batería calculado.

Días autonomía	Tamaño baterías (kWh)
0,09	2,07
0,175	4,02
0,265	6,09
0,35	8,04
0,435	9,99
0,525	12,06
0,61	14,01
0,7	16,07
0,785	18,03
0,87	19,98

Tabla 44. Tamaño de baterías para diferentes valores de autonomía. Fuente: Elaboración propia.

Así pues procederemos al estudio de un sistema de almacenamiento de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 kW.

Para ello, hemos elaborado un Excel en la que introduciendo las normas de distribución de la energía eléctrica mencionadas anteriormente podemos obtener, entre otros valores, el de energía inyectada y absorbida de la red. En esta Excel, analizamos 3 días tipo consecutivos de cada mes, quedándonos con los datos obtenidos para el tercero de ellos y considerando que este será su comportamiento normal en dicho mes.

Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada	(Sobra energía-Batería no cargada)	Falta energía-Batería no cargada	(Sobra energía-Batería cargada)
								Extraída de batería	Inyectada a batería	Extraída de la red	Inyectada a la red
0:00	0,000	0,588	-0,588	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,588
1:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,313
2:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,313
3:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,313
4:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,313
5:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,313
6:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,313
7:00	0,000	0,405	-0,405	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,405
8:00	0,000	0,594	-0,594	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,594
9:00	0,592	0,779	-0,187	0,592	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,187
10:00	1,359	1,352	-0,193	1,359	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	0,193
11:00	1,906	1,368	0,538	1,368	20%	1,200	1,738	29%	0,000	0,538	0,000
12:00	2,243	1,275	0,968	1,275	29%	1,738	2,706	45%	0,000	0,968	0,000
13:00	2,381	1,275	1,106	1,275	45%	2,706	3,812	64%	0,000	1,106	0,000
14:00	2,318	1,280	1,038	1,280	64%	3,812	4,850	81%	0,000	1,038	0,000
15:00	1,938	1,372	0,566	1,372	81%	4,850	5,416	90%	0,000	0,566	0,000
16:00	1,497	1,372	0,125	1,372	90%	5,416	5,541	92%	0,000	0,125	0,000
17:00	0,705	1,368	-0,663	0,705	92%	5,541	4,878	81%	0,663	0,000	0,000
18:00	0,000	1,368	-1,368	0,000	81%	4,878	3,511	59%	1,368	0,000	0,000
19:00	0,000	1,368	-1,368	0,000	59%	3,511	2,143	36%	1,368	0,000	0,000
20:00	0,000	1,372	-1,372	0,000	36%	2,143	1,200	20%	0,943	0,000	0,429
21:00	0,000	1,741	-1,741	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	1,741
22:00	0,000	1,557	-1,557	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	1,557
23:00	0,000	1,368	-1,368	0,000	20%	1,200	1,200	20%	0,000	0,000	1,368

Tabla 45. Ejemplo de modelo de simulación de sistema FV con almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.

Volcando sobre otra tabla los resultados para cada mes y tamaño de baterías, tenemos los datos a analizar para elegir el tamaño de nuestro sistema de almacenamiento.

Tamaño batería (kWh)	Resultados anuales (kWh/año)			
	Extraída de baterías	Autoconsumida	Extraída de red	Inyectada a red
2	584,00	2993,50	2511,31	3262,56
4	1168,00	2993,50	1927,31	2678,56
6	1703,93	2993,50	1391,37	2142,63
8	2112,69	2993,50	982,62	1733,87
10	2342,50	2993,50	752,81	1504,07
12	2367,97	2993,50	727,34	1478,59
14	2367,97	2993,50	727,34	1478,59
16	2367,97	2993,50	727,34	1478,59
18	2369,69	2993,50	725,62	1478,59
20	2386,49	2993,50	708,82	1478,59

Tabla 46. Resumen de resultados para diferentes tamaños de batería. Fuente: Elaboración propia.

Realmente, como veremos más adelante, ésta tabla no nos ofrece mayor información que el hecho de descartar aquellos tamaños de batería que evidencian un sobredimensionamiento del sistema de almacenamiento. Terminaremos por analizar únicamente el rango de capacidad de baterías entre 2 y 10 kW.

3.8.3. Análisis económico – Mecanismo de compensación simplificada -con baterías

El paso final de nuestro análisis es estudiar el impacto económico de cada una de las posibilidades.

Primeramente debemos centrarnos en que se va a hacer con la energía sobrante, es decir, aquella inyectada a red. Pues dependiendo de la legislación del país, podemos obtener compensación económica o de algún otro tipo por ella. En el caso de España, las diferentes modalidades aparecen regladas en el “Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.” [26] [27]

Dentro de la modalidad de suministro con autoconsumo con excedentes, destaca aquella acogida a compensación. Pertenecen a esta modalidad los casos de suministro con autoconsumo con excedentes en los que consumidor y productor (viene a ser la misma persona física) optan por acogerse voluntariamente a este mecanismo y cumpliendo las condiciones que aparecen en el artículo 4 de dicho real decreto. Junto a diferentes formalismos referentes a temas contractuales, las dos principales condiciones a tener en cuenta son:

“La fuente de energía primaria sea de origen renovable.”

“La potencia total de las instalaciones de producción asociadas no sea superior a 100 kW.”

Siendo evidente que ambas condiciones se cumplen, pasamos a ahondar más en el funcionamiento del mecanismo de compensación simplificada. Este aparece reflejado en el artículo 14 del mismo RD.

“En ningún caso, el valor económico de la energía horaria excedentaria podrá ser superior al valor económico de la energía horaria consumida de la red en el periodo de facturación, el cual no podrá ser superior a un mes.”

Considerando esto último, realizaremos el análisis de la posibilidad más rentable de la siguiente forma:

- Otorgar un precio de compra para la energía eléctrica sin discriminación horaria (extraída de la red). 0,12 €/kWh. [28]
- Otorgar un precio de venta de la energía eléctrica sin discriminación horaria (inyectada a red). 0,05 €/kWh.
- Calcular el valor económico de la energía eléctrica a comprar cada mes, y por tanto, el valor máximo de la energía que podemos vender .
- Evaluar la energía que podemos inyectar a red cada mes.
- Obtener el balance económico anual resultante de la energía eléctrica comprada-vendida cada mes.

Mediante Excel, obtenemos este balance equivalente al coste económico mensual y anual derivado de las necesidades de toma de energía eléctrica de la red.

		Tamaño batería (kWh)					
		2	4	6	8	10	12
Coste (€)	Enero	39,20	35,73	33,25	33,25	33,25	33,25
	Febrero	20,34	17,21	14,07	10,93	7,80	6,77
	Marzo	10,45	6,97	3,50	0,03	0,00	0,00
	Abril	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Junio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Julio	6,90	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agosto	7,38	3,91	0,44	0,00	0,00	0,00
	Septiembre	4,14	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00
	Octubre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Noviembre	24,65	21,29	17,93	14,57	14,18	14,18
	Diciembre	38,10	34,63	33,09	33,09	33,09	33,09
	Anual	151,67	123,95	102,28	91,873	88,31	87,28

Tabla 47. Balance económico para diferentes tamaños de batería. Fuente: Elaboración propia.

Observamos que a partir de un tamaño de 8 kW, estaríamos incurriendo también en un sobredimensionamiento del sistema de almacenamiento (evidenciable en términos económicos).

Para tener una idea más certera de la rentabilidad de cada posibilidad, debemos tener en cuenta un modelo concreto de baterías. En nuestro caso seleccionaremos el tipo de baterías estacionarias de gel, que presentan una mayor vida útil media que otras variantes además de, entre otras características, un muy buen comportamiento a altas temperaturas y mayor estabilidad en el comportamiento del voltaje frente a la descarga.

Elegimos el modelo Batería GEL de Ultracell de 12 V (por lo que deberemos colocar cuatro en serie para alcanzar los 48 V de nuestro sistema, determinados por el regulador) y un rango de acumulación entre 40 y 170 Ah, para cubrir las capacidades de entre 2 y 8 kWh.



Batería GEL 12V 55Ah Ultracell UCG-55-12

Figura 25. Modelo batería Ultracell 2640 Wh. Fuente: Autosolar.es



Batería GEL 12V 115Ah Ultracell
UCG-115-12

Figura 26. Modelo batería Ultracell 5520 Wh. Fuente: Autosolar.es



Batería GEL 12V 138Ah Ultracell
UCG-138-12

Figura 27. Modelo batería Ultracell 6624 Wh. Fuente: Autosolar.es

Modelo	Unidades	Tamaño (Wh)	Precio (€)
Batería GEL 12V 55Ah Ultracell UCG-55-12	x4	2640	475,76
Batería GEL 12V 115Ah Ultracell UCG-115-12	x4	5520	764,44
Batería GEL 12V 138Ah Ultracell UCG-138-12	x4	6624	935,72

Tabla 48. Precio conjunto diferentes modelos de baterías. Fuente: Elaboración propia.

Con un simple cálculo podemos hallar el precio medio de cada Wh extra.

$$\text{Precio Wh} = \frac{764 - 475}{5520 - 2640} = 0,10 \text{ €}$$

$$\text{Precio Wh} = \frac{935 - 764}{7536 - 5520} = 0,15 \text{ €}$$

Podemos estimar este precio medio del Wh extra en 0,10 € en el rango 2-4 kWh, de 0,14 € entre 4-6 kWh y de 0,15 € a partir de 6 kWh. Considerando una vida útil de las baterías de 12 años.

- Entre los tamaños de 2 y 4 kWh, supone un mayor ahorro aumentar el tamaño a 4 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro aumentar tamaño} &> \text{Coste aumentar tamaño} \\ (151,67 - 123,95) \times 12 &> (4000 - 2000) \times 0,125 \\ 332,64 \text{ €} &> 250 \text{ €} \end{aligned}$$

- Entre los tamaños de 4 y 6 kWh, se puede aceptar aumentar el tamaño a 6 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro aumentar tamaño} &< \text{Coste aumentar tamaño} \\ (123,95 - 102,28) \times 12 &< (6000 - 4000) \times 0,13 \\ 260,04 \text{ €} &\approx 260 \text{ €} \end{aligned}$$

- Entre los tamaños de 6 y 8 kWh, supone un mayor ahorro mantener el tamaño de 6 kWh.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro aumentar tamaño} &< \text{Coste aumentar tamaño} \\ (102,28 - 91,87) \times 12 &< (8000 - 6000) \times 0,125 \\ 124,92 \text{ €} &< 250 \text{ €} \end{aligned}$$

Por tanto, elegiremos un tamaño de batería cercano a 6 kWh (incluso inferior). De entre las opciones disponibles para la gama Ultracell, nos quedamos con las 4 baterías en serie de 12V y 115 Ah, que nos darán una capacidad de 5,52 kWh.

3.8.4. Resultados -con baterías

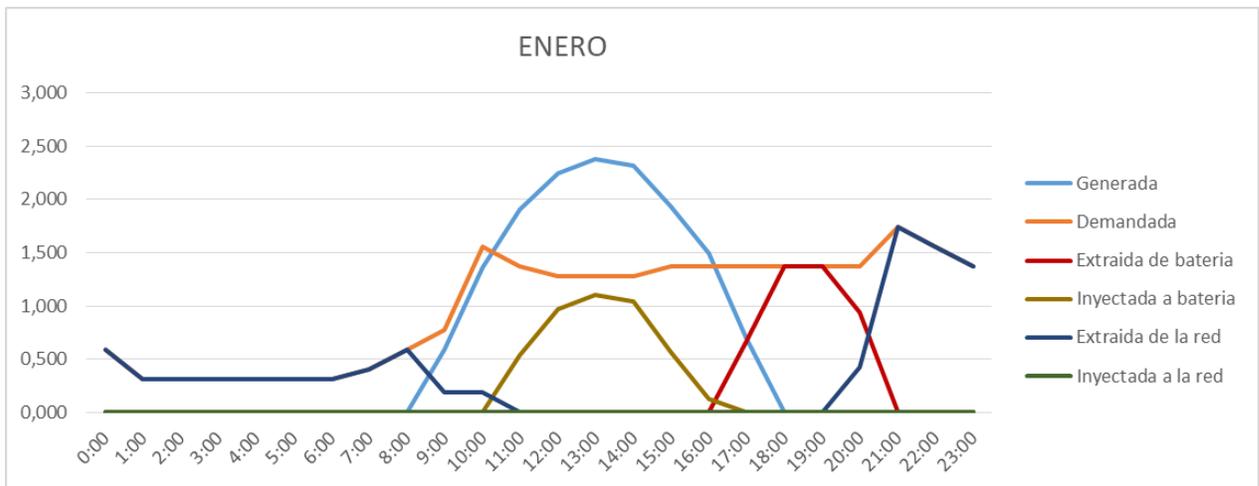
Finalmente, realizamos el estudio concreto para este caso:

	Extraída de baterías (kWh)	Autoconsumida	Extraída de red	Inyectada a red	Comprada Mes (€)	Vendida Teórica Mes (€)	Vendida Real Mes (€)	Balance (€)
Enero	4,341	10,599	8,938	0,000	33,250	0,000	0,000	33,250
Febrero	4,416	10,027	6,125	4,111	20,579	5,756	5,756	14,824
Marzo	4,416	8,935	3,909	6,585	14,542	10,206	10,206	4,335
Abril	4,416	7,636	1,974	8,341	7,105	12,512	7,105	0,000
Mayo	4,416	4,939	0,182	10,639	0,676	16,491	0,676	0,000
Junio	4,416	7,203	1,592	8,608	5,730	12,912	5,730	0,000
Julio	4,416	9,325	3,421	7,699	12,727	11,934	11,934	0,793
Agosto	4,416	8,945	3,605	7,832	13,409	12,139	12,139	1,270
Septiembre	4,416	7,631	3,172	8,794	11,418	13,190	11,418	0,000
Octubre	4,416	4,724	1,520	9,186	5,656	14,238	5,656	0,000
Noviembre	4,416	8,568	6,110	2,171	21,996	3,257	3,257	18,739
Diciembre	3,911	10,005	8,894	0,000	33,086	0,000	0,000	33,086
TOTAL ANUAL	1593,857	2993,503	1501,451	2252,708				106,296

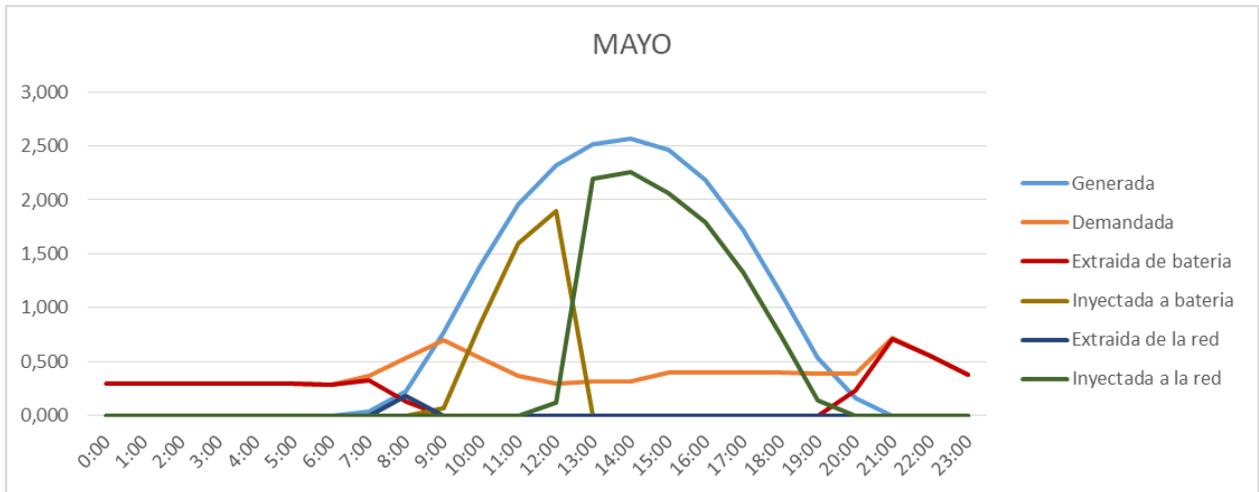
Tabla 49. Resultados mensuales y anuales para tamaño de baterías de 5,52 kWh. Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo IV aparece detallado el balance horario de cada mes. A grandes rasgos, observamos que los meses de invierno son los que suponen un mayor porcentaje de la energía comprada a red, mientras que en los meses de primavera y otoño, somos capaces de compensar el coste de la energía extraída de red con la inyectada a red, dejando un balance económico de gasto nulo.

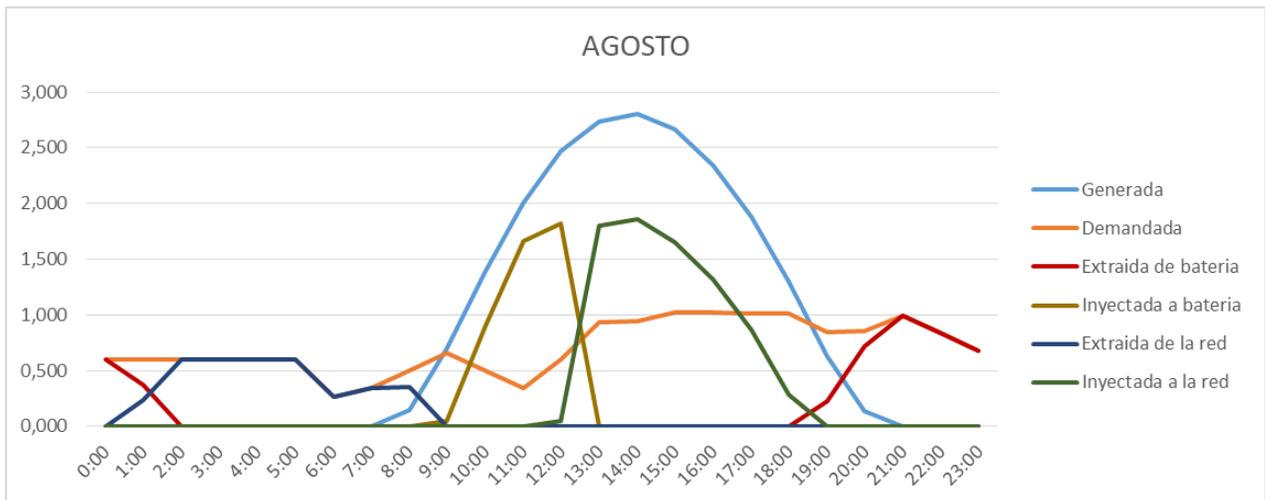
Gráficamente podemos observar las diferencias entre diferentes meses:



Gráfica 11. Balance de energía por horas para batería de 5,52 kWh para el mes de septiembre. Fuente: Elaboración propia.

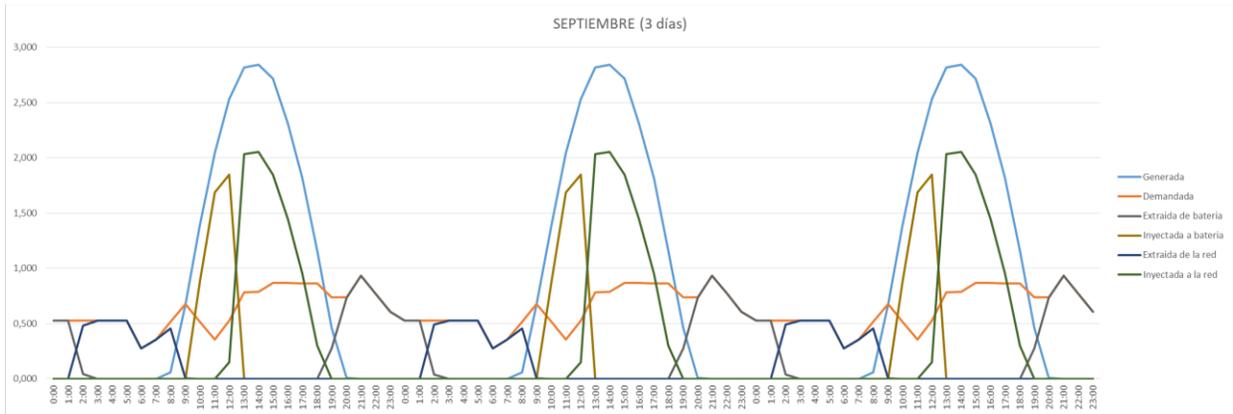


Gráfica 12. Balance de energía por horas para batería de 5,52 kWh para el mes mayo. Fuente: Elaboración propia.

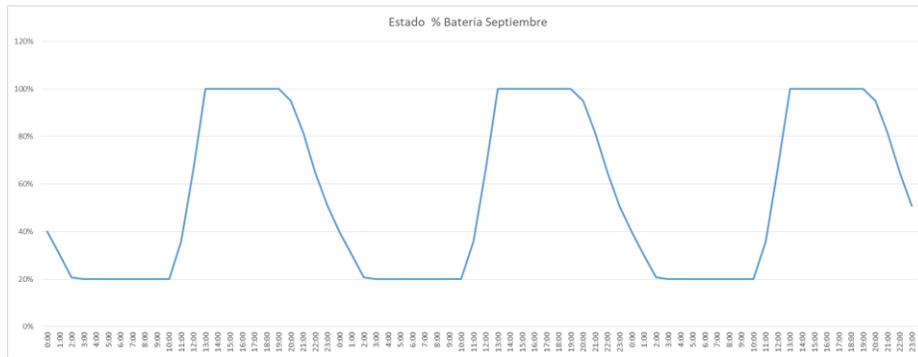


Gráfica 13. Balance de energía por horas para batería de 5,52 kWh para el mes de agosto. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, analizaremos más a fondo por poner un ejemplo, el mes de septiembre.



Gráfica 14. Balance de energía por horas para 3 días consecutivos de septiembre. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 15. Porcentaje de carga de la batería por horas para 3 días consecutivos de septiembre. Fuente: Elaboración propia.

	Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada	(Sobra energía-Batería no cargada)	Falta energía-Batería no cargada	(Sobra energía-Batería cargada)
									Extraída de batería	Inyectada a batería	Extraída de la red	Inyectada a la red
0:00	0,000	0,000	0,529	-0,529	0,000	40%	2,208	1,679	30%	0,529	0,000	0,000
1:00	0,000	0,000	0,529	-0,529	0,000	30%	1,679	1,150	21%	0,529	0,000	0,000
2:00	0,000	0,000	0,529	-0,529	0,000	21%	1,150	1,104	20%	0,046	0,000	0,483
3:00	0,000	0,000	0,529	-0,529	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,529	0,000
4:00	0,000	0,000	0,529	-0,529	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,529
5:00	0,000	0,000	0,529	-0,529	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,529
6:00	0,000	0,275	-0,275	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,275	0,000
7:00	0,000	0,355	-0,355	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,355	0,000
8:00	0,061	0,519	-0,458	0,061	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,458	0,000
9:00	0,872	0,679	-0,008	0,872	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,000	0,000
10:00	1,392	0,514	0,877	0,514	20%	1,104	1,981	36%	0,000	0,877	0,000	0,000
11:00	2,044	0,355	1,689	0,355	36%	1,981	3,670	66%	0,000	0,000	1,689	0,000
12:00	2,529	0,529	2,000	0,529	66%	3,670	5,520	100%	0,000	0,000	1,850	0,150
13:00	2,818	0,783	2,035	0,783	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	2,035
14:00	2,844	0,787	2,057	0,787	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	2,057
15:00	2,718	0,867	1,851	0,867	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,851
16:00	2,313	0,867	1,446	0,867	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,446
17:00	1,818	0,863	0,955	0,863	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,955
18:00	1,162	0,863	0,300	0,863	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,300
19:00	0,462	0,736	-0,273	0,462	100%	5,520	5,247	95%	0,273	0,000	0,000	0,000
20:00	0,008	0,740	-0,732	0,008	95%	5,247	4,515	82%	0,732	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	0,932	-0,932	0,000	82%	4,515	3,583	65%	0,932	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,773	-0,773	0,000	65%	3,583	2,810	51%	0,773	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,609	-0,609	0,000	51%	2,810	2,201	40%	0,609	0,000	0,000	0,000

Tabla 50. Flujos de carga por horas para sistema FV con 5,52 kWh de baterías en septiembre. Fuente: Elaboración propia.

Generada	Demandada	Balance total	Autoconsumida	Extraída de batería	Inyectada a batería	Extraída de la red	Inyectada a la red
20,841	15,219	5,622	7,631	4,416	4,416	3,172	8,794

Tabla 51. Flujos de carga diarios para sistema FV con 5,52 kWh de baterías en septiembre. Fuente: Elaboración propia.

3.9. Análisis de viabilidad económica del proyecto

Por último, debemos comprobar la rentabilidad económica de instalar el sistema de energía fotovoltaica proyectado.

Primeramente calculamos cual sería el coste anual, derivado de la energía eléctrica consumida, como consecuencia de no instalar este sistema fotovoltaico. Es decir, en el caso de que el consumo se cubriese de la forma ordinaria, con un contrato de suministro de energía eléctrica de red.

Suponemos un precio de la electricidad de 0,12 €/kWh tal y como habíamos considerado en apartados anteriores. Y siendo la carga térmica anual de 6095 kWh:

$$\text{Coste anual}_{\text{sin sistema FV}} = 6095 \times 0,12 = 731,4 \text{ €/año}$$

Por otra parte, analizaremos todos los costes derivados de la instalación fotovoltaica. Divididos en dos:

- Costes fijos de instalación.
- Coste anual por compra-venta de energía a red.

Estos costes fijos son resultado de la compra e instalación de los diferentes elementos que componen el sistema fotovoltaico.

Elemento	Coste (€)
Inversor	1970,29
Contador	109
Módulos	3194,4
Estructura	50
Cableado	50
Protecciones	136,03
Baterías	764,44
Total	6274,16

Tabla 52. Coste total de la instalación fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia.

El coste anual lo valoraremos para dos posibilidades:

- Sin instalación de sistema de almacenamiento
Tomando los datos de energía absorbida e inyectada a la red calculada en el apartado anterior, y aplicando el mecanismo de compensación simplificada. El balance de coste anual de la energía sería de 185,34 €

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual (kWh/año)
Absorbida de la red	411,65	295,14	258,08	191,69	142,53	180,23	242,95	248,64	227,63	184,03	315,78	396,96	3095,31
Inyectada a la red	134,57	238,76	341,02	382,72	466,72	390,72	375,57	379,68	396,29	421,65	197,62	121,24	3846,56
Valor comprada (€)	49,40	35,42	30,97	23,00	17,10	21,63	29,15	29,84	27,32	22,08	37,89	47,63	
Valor vendida (€)	6,73	11,94	17,05	19,14	23,34	19,54	18,78	18,98	19,81	21,08	9,88	6,06	
Valor vendida real (€)	6,73	11,94	17,05	19,14	17,10	19,54	18,78	18,98	19,81	21,08	9,88	6,06	
Balance coste (€)	42,67	23,48	13,92	3,87	0,00	2,09	10,38	10,85	7,50	1,00	28,01	41,57	185,34

Tabla 53. Balance económico para sistema FV sin almacenamiento. Fuente: Elaboración propia.

- Con instalación del sistema de almacenamiento previamente dimensionado:
El coste anual era como habíamos calculado de 106,26 €.

Valorando estas posibilidades para un plazo de doce años. La inversión requerida por cada una es:

Tipo	Instalación (€)	Anuales (€)	Plazo (años)	Total (€)
Sin sistema FV	0	731,4	12	8776,8
Sistema FV sin baterías	5509,72	185,34	12	7733,8
Sistema FV con baterías	6274,16	106,26	12	7549,28

Tabla 54. Coste final de cada tipo de instalación. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, se constata que será rentable la instalación de un sistema de energía eléctrica fotovoltaica para abastecer nuestra vivienda.

4. Conclusiones

En el primer bloque de cálculo de las cargas térmicas, hemos podido observar la alta variabilidad de estas como consecuencia de multitud de aspectos diferentes de su configuración, como son principalmente el material y las dimensiones. Los elementos estudiados (termo eléctrico, frigorífico y bomba de calor), tienen como objetivo alcanzar y mantener una temperatura constante contrarrestando las pérdidas térmicas que lo dificultan. Por tanto, tratar de minimizar estas pérdidas será clave para lograr un ahorro energético en nuestra vivienda, que en ocasiones puede ser sustancial.

Atendiendo al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, observamos también la gran influencia de diversos aspectos sobre el rendimiento de este, en primer lugar, la ubicación, orientación e inclinación. Una vez seleccionados los distintos elementos del sistema, analizamos la morfología concreta de nuestro caso. Se trata de un sistema fotovoltaico de conexión a red sujeto a compensación simplificada con la opción de utilizar sistema de almacenamiento.

Se ha demostrado la rentabilidad del sistema en un plazo de doce años, aunque es cierto que no se le obtiene todo el rendimiento que fuera deseable debido a los siguientes aspectos:

- El mecanismo de compensación simplificada se aplica mensualmente, pudiendo alcanzar únicamente un balance económico nulo en cada periodo, y sin poder llegar a obtener beneficio económico.
- El precio de venta de energía (0,05 €) es mucho menor al de compra (0,12 €), por lo que un excedente de energía producida no siempre se traduce en ahorro económico sustancial.
- Existe una gran disparidad entre la energía demandada y producida para cada época del año, siendo el sizing factor en los meses de invierno inferior a uno, por lo que estaremos obligados a recurrir a la energía de red.

Por otra parte, el sistema de baterías, aunque mínimamente, resulta rentable colocarlo. En la línea de lo comentado anteriormente, la potencia instalada pico instalada puede resultar insuficiente impidiendo llegar a cargar y sacar provecho a las baterías.

En conclusión final, el dimensionamiento de la potencia instalada lo considero adecuado, alcanzando un sizing factor a nivel anual algo superior a 1. Que nos permita alcanzar un balance económico cero en determinados meses, y minimizar todo lo posible la energía comprada a red en los meses más críticos. Si bien, los resultados serían mucho más favorables, si se cambiasen alguna de las normas de este mecanismo de compensación simplificada, como la posibilidad de realizar balance anual, obtener beneficio económico o equiparar los precios de compra-venta. Finalmente, también hemos de tener en cuenta que el coste de los elementos de la instalación, continuará reduciéndose, tal y como viene haciendo en las últimas décadas.

5. Bibliografía

- [1] “InnoBlog: The Evolution of Renewable Energy”. Available: <https://www.innoenergy.com/for-students-learners/news-events/innoblog-the-evolution-of-renewable-energy/> [Accessed: 20-Abril-2020]
- [-] “Caldera eléctrica: ¿es una buena opción?”. Available: <https://www.hogarsense.es/calefaccion/caldera-electrica> [Accessed: 23-Abril-2020]
- [-] “El termo eléctrico y sus componentes”. Available: <https://www.hogarsense.es/agua-caliente/dispositivos-termo-electrico> [Accessed: 23-Abril-2020]
- [2] “Cálculo de demanda de agua caliente sanitaria”. Available: <https://www.economizaconrenovables.com/calculo-de-demanda-de-agua-caliente-sanitaria/> [Accessed: 24-Abril-2020]
- [3] “Bosch Tronic 6000T”. Available: <https://www.bosch-thermotechnology.com/es/es/ocs/residencial/tronic-6000-t-758389-p/>
- [4] “Poliuretano”. Available: https://cir62.com/pdf_img_documentacion/PDF/PRAXSA_POLIURETANO.pdf
- [-] “Guía técnica: diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos (IDAE)”. Available: file:///C:/Users/ISAAC~1/AppData/Local/Temp/10540_diseño_y_calculos_aislamiento_aislam_a2007.pdf
- [-] “Pérdidas de energía en calderas”. Available: <https://www.vapormat-saacke.com/perdidas-de-energia-en-calderas> [Accessed: 27-Abril-2020]
- [-] “Termodinámica técnica y fundamentos de transmisión de calor”. Apuntes de la asignatura (2º curso de Ingeniería de Tecnologías Industriales en Unizar). Francisco J. Collado.
- [-] “Borgnakke, Sonntag, Fundamentals of thermodynamics 8th edition”. Available: <https://umairbfrend.files.wordpress.com/2015/01/borgnakke-fundamentals-of-thermodynamics-8th-c2013-txtbk.pdf>
- [-] “Ingeniería térmica: Calor”. Apuntes de la asignatura (2º curso de Ingeniería de Tecnologías Industriales en Unizar). Francisco J. Collado.
- [-] “Transferencia de Calor y Masa 3a ed. - Yunus Cengel”. Available: https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf
- [-] “Rendimiento de calderas eléctricas” Available: <http://blog.ete.es/rendimiento-calderas-electricas/> [Accessed: 27-Abril-2020]
- [5] “¿Cuánto consume un frigorífico de media en una vivienda?”. Available: <https://www.milar.es/blog/cuanto-consume-un-frigorifico-de-media-en-una-vivienda/> [Accessed: 29-Abril-2020]

- [6] “El frigorífico: como funciona”. Available: <https://www.danfoss.com/es-es/about-danfoss/our-businesses/cooling/the-fridge-how-it-works/> [Accessed: 2-Mayo-2020]
- [7] “Circuito frigorífico y bomba de calor: elementos y aplicaciones”. Available: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/2-Circuito-frigorifico-y-bomba-de-calor.pdf>
- [8] “LG GR3891SQ”. Available: <https://www.lg.com/es/frigorificos/lg-GR3891SQA-combi> [Accessed: 6-Mayo-2020]
- [9] “Refrigerators: A Look at What’s Inside”. Available: <https://www.assemblymag.com/articles/94877-refrigerators-a-look-at-whats-inside>
- [10] “Calculating Energy Rating of Domestic Refrigerators Through Laboratory Heat Transfer Measurements and Computer Simulations”. Akbar Hessami. Available: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/clima2000/1997/P284.pdf
- [-] “Máquinas y motores térmicos: tecnología frigorífica”. Apuntes de asignatura (Ingeniería eléctrica en Unican). Carlos J. Renedo. Available: <https://personales.unican.es/renedoc/Trasperecias%20WEB/Trasp%20Tec%20Frig/002%20Cargas%20T%C3%A9rmicas.pdf>
- [-] “Investigation of Energy Consumption and Energy Savings of Refrigerator-Freezer During Open and Closed Door Condition, (Journal of applied science, 2008)”. Available: <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2008/1822-1831.pdf>
- [-] “Thermal and Energy Evaluation of a Domestic Refrigerator under the Influence of the Thermal Load (Energies, 2018)”. Available: https://www.researchgate.net/publication/330723946_Thermal_and_Energy_Evaluation_of_a_Domestic_Refrigerator_under_the_Influence_of_the_Thermal_Load
- [-] “Boughton, Clausing, Newell, An Investigation of Household Refrigerator Cabinet Loads (1992)”. Available: <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/9722/TR021.pdf?sequence=3>
- [11] “¿Cuánto cuesta abrir el frigorífico?”. Available: <https://www.xataka.com/investigacion/cuanto-cuesta-abrir-el-frigorifico-la-realidad-detras> [Accessed: 15-Mayo-2020]
- [12] “Diagrama y calculadora de parámetros psicrométricos online”. Available: <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>
- [13] “¿Cómo funciona el aire acondicionado?”. Available: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/como-funciona-el-aire-acondicionado-infografia.html> [Accessed: 23-Mayo-2020]
- [14] “Aire acondicionado con bomba de calor reversible”. Available: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/bomba-de-calor-reversible.html> [Accessed: 23-Mayo-2020]
- [-] “Guía para el cálculo de las cargas térmicas en los edificios”. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html> [Accessed: 27-Mayo-2020]
- [-] “Cálculo de cargas térmicas: Conceptos básicos y métodos”. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/> [Accessed: 27-Mayo-2020]

- [15] “Soluciones de Aislamiento con Vidrios y Cerramientos (IDAE)”. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_GUIA_TECNICA_Vidrios_y_cerramiento_v05_2dfc482b.pdf
- [16] “Código técnico de edificación: Prontuario de soluciones constructivas”. Available: <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=12>
- [17] “Espesores mínimos de aislamiento recomendados por Isover según el Código Técnico de la Edificación (CTE)”. Available: <https://www.isover.es/documentacion/software-programas-calculo/calculo-espesores-cte>
- [18] “Ecovent 035”. Available: <https://www.isover.es/productos/ecovent-035>
- [19] Tablas para el dimensionamiento de instalaciones solares térmicas.
- [20] “Cálculo de la radiación media mensual sobre superficie arbitrariamente orientadas e inclinadas. Universidad de Jaén”. Available: http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/java/pro_rad_5.htm
- [21] “Ventilación de vivienda unifamiliar según el CTE”. Available: <https://www.certicalia.com/blog/ventilacion-vivienda-unifamiliar-cte> [Accessed: 5-Junio-2020]
- [22] “COP – Bomba de calor”. Available: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-coeficiente-de-rendimiento-cop-bomba-de-calor-definicion/> [Accessed: 9-Junio-2020]
- [-] Material audiovisual sobre instalaciones fotovoltaicas cedido por Ángel Antonio Bayod Rújula (Máster Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética en Unizar)
- [-] “Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)”. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [23] “Módulo fotovoltaico ASP-630”. Available: <https://www.weamerisolar.eu/wp-content/uploads/2017/03/AS-6P30-Module-Specification.pdf>
- [24] “Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión”. Available: <https://suelosolar.com/legislacion/fotovoltaica/espana/29-9-2000/real-decreto-16632000-29-septiembre-conexion-instalaciones-fotovoltaicas-red-baja-tension>
- [25] “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (IDAE)”. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf
- [26] “El Real Decreto de Autoconsumo, al detalle”. Available: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/el-real-decreto-de-autoconsumo-al-detalle-20190409> [Accessed: 5-Julio-2020]
- [27] “Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica”. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089.pdf>
- [28] “¿Qué es la compensación simplificada o compensación de excedentes?”. Available: <https://selectra.es/autoconsumo/info/tarifas> [Accessed: 20-Julio-2020]

[-] "Autoconsumo directo (sin baterías) vs con baterías ¿Cuál es la mejor opción?". Available: <https://desenchufate.es/autoconsumo-directo-autoconsumo-baterias/> [Accessed: 20-Julio-2020]



Universidad
Zaragoza

ANEXOS

“Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos para cubrir aplicaciones térmicas domésticas”

“Design of photovoltaic systems to cover domestic thermal applications”

Autor:

Isaac Tena Ibáñez

Director:

Ángel Antonio Bayod Rújula

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2020

Anexo I

Cálculo de la carga térmica en la vivienda por transmisión a través de paredes y ventanas. Teniendo en cuenta los datos ya presentados de transmitancias de los materiales, espesores y superficies de las fachadas.

Para las paredes, la resistencia equivalente será: $\sum \frac{L}{\lambda \times A}$

	Resistencia equivalente			
	Norte	Sur	Este	Oeste
Ladrillo	0,031	0,033	0,054	0,054
Mortero	0,008	0,009	0,014	0,014
Aislante	0,437	0,471	0,765	0,765
Yeso	0,122	0,132	0,214	0,214
Total	0,599	0,645	1,047	1,047

Aplicando la fórmula de cargas térmicas para cada lado de la fachada: $\frac{(T_{ext}-T_{int})}{R_{eq}}$

	Norte		Sur		Este		Oeste		Total (Wh/día)
	Req	Carga (W)							
ENE	0,599	-25	0,645	-23	1,047	-14	1,047	-14	-1835
FEB		-22		-21		-13		-13	-1638
MAR		-18		-17		-11		-11	-1355
ABR		-14		-13		-8		-8	-1059
MAY		-9		-8		-5		-5	-628
JUN		-4		-3		-2		-2	-259
JUL		2		2		1		1	123
AGO		1		1		1		1	74
SEP		-2		-2		-1		-1	-160
OCT		-11		-11		-6		-6	-837
NOV		-20		-19		-11		-11	-1478
DIC		-24		-22		-13		-13	-1737

Para el cristal, la resistencia equivalente será: $\frac{1}{K \times A}$

	Resistencia equivalente			
	Norte	Sur	Este	Oeste
Cristal	0,066	0,049	0,098	0,098

Aplicando la fórmula de cargas térmicas para los cristales de cada lado de la fachada: $\frac{(T_{ext}-T_{int})}{R_{eq}}$

	Norte		Sur		Este		Oeste		Total (Wh/día)
	Req	Carga (W)							
ENE	0,066	-227	0,049	-303	0,098	-151	0,098	-151	-19991
FEB		-203		-270		-135		-135	-17844
MAR		-168		-224		-112		-112	-14758
ABR		-131		-175		-87		-87	-11538
MAY		-78		-104		-52		-52	-6842
JUN		-32		-43		-21		-21	-2817
JUL		15		20		10		10	1342
AGO		9		12		6		6	805
SEP		-20		-26		-13		-13	-1744
OCT		-104		-138		-69		-69	-9123
NOV		-183		-244		-122		-122	-16100
DIC		-215		-287		-143		-143	-18917

Para los marcos, la resistencia equivalente será: $\frac{1}{K \times A}$

	Resistencia equivalente			
	Norte	Sur	Este	Oeste
Marco	0,12	0,09	0,18	0,18

Aplicando la fórmula de cargas térmicas para los marcos de cada lado de la fachada: $\frac{(T_{ext}-T_{int})}{R_{eq}}$

	Norte		Sur		Este		Oeste		Total (Wh/día)
	Req	Carga (W)	Req	Carga (W)	Req	Carga (W)	Req	Carga (W)	
ENE		-124		-165		-83		-83	-10904
FEB		-111		-147		-74		-74	-9733
MAR		-91		-122		-61		-61	-8050
ABR		-72		-95		-48		-48	-6294
MAY		-42		-57		-28		-28	-3732
JUN	0,12	-17	0,09	-23	0,18	-12	0,18	-12	-1537
JUL		8		11		6		6	732
AGO		5		7		3		3	439
SEP		-11		-14		-7		-7	-951
OCT		-57		-75		-38		-38	-4976
NOV		-100		-133		-67		-67	-8782
DIC		-117		-156		-78		-78	-10318

Anexo II

Ficha técnica del inversor.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS PRIMO GEN24 PLUS

El inversor híbrido con función de energía de emergencia





Comunicación de datos integrada



Seguimiento Inteligente GMPP



Tecnología Multi Flow



Diseño SuperFlux



Función de energía de emergencia



Kit de emergencia básica del PV Point

Con categorías de potencia de 3,0 a 6,0 kW, el Fronius Primo GEN24 Plus es el inversor híbrido ideal para el hogar. Con numerosas características integradas, este dispositivo monofásico satisface perfectamente las necesidades de cada usuario.

El Fronius Primo GEN24 Plus destaca gracias a las diferentes funciones integradas como la gestión de energía, la conexión WLAN, la conectividad Ethernet y la fácil integración de componentes de otros fabricantes. Además, garantiza la más alta fiabilidad en el suministro de energía con varias opciones de energía de emergencia (PV Point, energía de emergencia).

DATOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO GEN24 PLUS (3.0, 3.6, 4.0, 4.6, 5.0, 6.0)

DATOS DE ENTRADA	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Número de seguidores MPPT	2					
Máx. corriente de entrada (lánea MPPT1 / MPPT2)	22 A / 12 A					
Máx. corriente de cortocircuito por serie PV (MPPT1 / MPPT2)	33 A / 18 A					
Rango de tensión de entrada CC (U _{dc min} - U _{dc máx})	85 V - 600 V					
Tensión nominal de entrada (U _{dc N})	400 V					
Tensión de puesta en servicio (U _{dc service})	80 V					
Rango de tensión MPPT	85 V - 530 V					
Número de entradas CC (MPPT1 / MPPT2)	2 / 2					
Máx. salida del generador PV (U _{dc máx})	4,5 kW _{iso}	5,5 kW _{iso}	6,0 kW _{iso}	6,9 kW _{iso}	7,5 kW _{iso}	9,0 kW _{iso}

DATOS DE SALIDA	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Potencia nominal CA (P _{ac,r})	3.000 W	3.600 W	4.000 W	4.600 W	5.000 W	6.000 W
Máxima potencia de salida	3.000 VA	3.600 VA	4.000 VA	4.600 VA	5.000 VA	6.000 VA
Máx. corriente de salida CA (I _{ac máx})	19,40 A	23,70 A	25,00 A	27,50 A	27,50 A	27,50 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)	1 - NPE 220 V / 230 V (+20 % / -10 %)					
Frecuencia (rango de frecuencia)	50 Hz / 60 Hz (45 Hz - 65 Hz)					
Coefficiente de distorsión no lineal	< 2 %					
Factor de potencia (cos φ ac)	0,8 - 1 ind. / cap.					
Energía de emergencia	1 - NPE 220 V / 230 V					

DATOS DE SALIDA PV POINT / ENERGÍA DE EMERGENCIA	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Potencia de salida nominal PV Point / energía de emergencia	3.000 W / 3.000 VA	3.000 W / 3.600 VA	3.000 W / 4.000 VA	3.000 W / 4.600 VA	3.000 W / 5.000 VA	3.000 W / 6.000 VA
Acoplamiento a la red (rango de tensión) PV Point	1 - NPE 220 V / 230 V					
Acoplamiento a la red (rango de tensión) Energía de emergencia	1 - NPE 220 V / 230 V					
Tiempo de transición	< 48 segundos					

CONEXIÓN A BATERÍA	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Número de entradas CC	1					
Máx. corriente de entrada (I _{cc máx})	22 A					
Rango de tensión de entrada CC (U _{dc min} - U _{dc máx})	150 V - 450 V					
Máx. potencia de estado / salida ¹	3.110 W	3.810 W	4.140 W	4.730 W	5.170 W	6.200 W
Máx. potencia de carga CA	3.000 W	3.600 W	4.000 W	4.600 W	5.000 W	6.000 W

DATOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO GEN24 PLUS (3.0, 3.6, 4.0, 4.6, 5.0, 6.0)

DATOS GENERALES	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	528 x 474 x 163 mm					
Peso (inversor / con embalaje)	16,6 / 19,2 kg					
Tipo de protección	IP 66					
Clase de protección	1					
Pérdida de potencia nocturna	< 10 W					
Categoría de sobretensión (CIGR) ²	2 / 3					
Concepto de inversor	Sin Transformador					
Refrigeración	Refrigeración de aire regulada					
Instalación	Instalación interior y exterior					
Margen de temperatura ambiente	-40 - +60 °C					
Humedad de aire admisible	0 - 100 %					
Máxima altitud	4.000 m					
Tecnología de conexión PV CC	4x CC+ y 4x DC bornes de conexión alíptica 2,5 - 10 mm ²					
Tecnología de conexión de batería CC	1x BATERÍA + y 1x BATERÍA bornes de conexión alíptica 2,5 - 10 mm ² Conector de resorte push-in de 3 polos AC 2,5 - 10 mm ²					
Tecnología de conexión CA	Conector de resorte push-in de 3 polos para función backup 1,5 - 10 mm ² 5x PE bornes roscaados 2,5 - 16 mm ²					
Certificados y cumplimiento de normas	IEC 62109, IEC 62989, AS/NZS 4777.2, CEI 0-21, ADNT BNR 10149 y 10150, IEC 62116, IEC 61732 ³					
Funciones de energía de emergencia	PV Point o energía de emergencia					
Baterías compatibles	BYD Battery-Box Premium HVS/HVM ⁴					

RENDIMIENTO	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Máximo rendimiento	97,6 %					
Rendimiento europeo (ηEU)	96,8 %	97,0 %	97,1 %	97,2 %	97,2 %	97,1 %
Rendimiento de adaptación MPP	> 99,9 %					

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
Medición del aislamiento CC	SI					
Compartimento de sobrecarga	Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia					
Seccionador CC	SI					
Protección contra polaridad inversa	SI					

INTERFACES	PRIMO GEN24 3.0 PLUS	PRIMO GEN24 3.6 PLUS	PRIMO GEN24 4.0 PLUS	PRIMO GEN24 4.6 PLUS	PRIMO GEN24 5.0 PLUS	PRIMO GEN24 6.0 PLUS
WLAN / 2x Ethernet LAN	Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)					
6 inputs/6puets digitales + 6 inputs digitales	Interfaz receptor del control de onda, gestión de energía					
USB 2.0 (Tipo A)	Suministro de 1 A					
Pantalla de emergencia (WSD)	SI					
Data logger y Servidor web	Incluido					
2x RS485	Modbus RTU SunSpec (de otros fabricantes) / Fronius Smart Meter, batería, Fronius Ohmpilot					

¹ Dependiendo de la batería conectada. ² De acuerdo con IEC 62109-1. ³ Excepto HVS 10,2, HVS 12,8, HVM 8,3 y HVM 22,1.
⁴ Estos son los certificados previstos. Para los certificados actuales, por favor haga clic en: www.fronius.com/primo-gen24-plus-cert
 Más información sobre la disponibilidad de Inversores en su país en www.fronius.es.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

TRES UNIDADES DE NEGOCIO, UNA MISMA PASIÓN: TECNOLOGÍA QUE ESTABLECE ESTÁNDARES.

Lo que en 1945 comenzó como una empresa unipersonal, en la actualidad marca los estándares tecnológicos en los sectores de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica y carga de baterías. En la actualidad contamos en todo el mundo con 4.550 empleados y 1.241 patentes concedidas por desarrollos de productos, poniendo de manifiesto nuestro innovador espíritu. La expresión "desarrollo sostenible" significa para nosotros fomentar aspectos sociales y relevantes para el medio ambiente, teniendo en cuenta los factores económicos. Nuestro objetivo siempre ha sido el mismo: ser líderes en innovación.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo visite www.fronius.com v08 Aug 2017 ES

Fronius España S.L.U.
 Parque Empresarial LA CARPETANIA
 Miguel Faraday 2
 28906 Getafe (Madrid)
 España
 Teléfono +34 91 649 60 40
pv-sales-spain@fronius.com
www.fronius.es

Fronius International GmbH
 Froniusplatz 1
 4600 Wels
 Austria
 Teléfono +43 7242 241-0
 Fax +43 7242 241-952560
pv-sales@fronius.com
www.fronius.com

Todos los derechos reservados. Copyright © 2011 Fronius AG. Todos los datos son aproximados. No se garantiza la exactitud de todos los datos a pesar de las revisiones de datos.

ES-v08 Jan 2020

Anexo III

Ficha técnica del módulo fotovoltaico.



New Energy

New World

Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Limited

AS-5M

Amerisolar's photovoltaic modules are designed for large electrical power requirements. With a 30-year warranty, AS-5M offers higher-powered, more reliable performance for both on-grid and off-grid solar projects.

Key Features

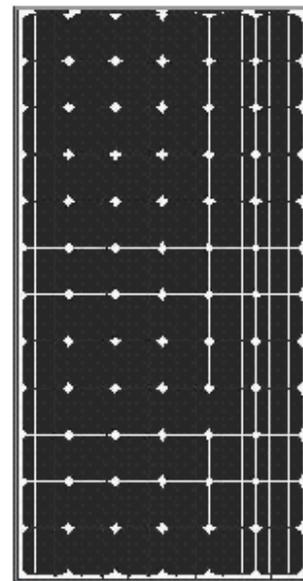
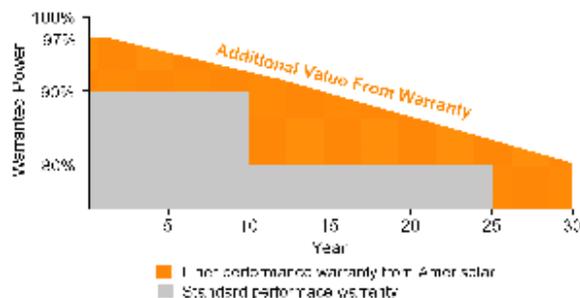
- High module conversion efficiency up to 16.45% through superior manufacturing technology.
- Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.
- High ammonia and salt mist resistance.

Quality Certificates

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, UL1703, CE, MCS, CEC, Israel Electric, Kemco
- ISO9001:2008: Quality management system
- ISO14001:2004: Environmental management system
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

Special Warranties

- 12 year limited product warranty.
- Limited power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.



Passionately
committed to
delivering innovative
energy solution

www.weamerisolar.com

Electrical Characteristics

Electrical parameters at STC						
Nominal Power (P_{max})	185W	190W	195W	200W	205W	210W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	44.8V	45.0V	45.1V	45.2V	45.4V	45.6V
Short Circuit Current (I_{sc})	5.45A	5.54A	5.63A	5.72A	5.81A	5.90A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	36.3V	36.5V	36.7V	36.9V	37.1V	37.3V
Current at Nominal Power (I_{mp})	5.10A	5.21A	5.32A	5.43A	5.53A	5.64A
Module Efficiency (%)	14.49	14.88	15.27	15.67	16.06	16.45

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

Electrical parameters at NOCT						
Nominal Power (P_{max})	135W	139W	142W	146W	150W	153W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	41.2V	41.4V	41.5V	41.6V	41.8V	42.0V
Short Circuit Current (I_{sc})	4.41A	4.49A	4.56A	4.63A	4.71A	4.78A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	33.0V	33.2V	33.4V	33.6V	33.8V	33.9V
Current at Nominal Power (I_{mp})	4.10A	4.19A	4.26A	4.35A	4.44A	4.52A

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Cell type	Monocrystalline 125x125mm
Number of cells	72 (6x12)
Module dimension	1580x808x35mm
Weight	15.5kg
Front cover	3.2mm low-iron tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 3 diodes
Cable	4mm ² , 900mm
Connector	MC4 or MC4 compatible
Standard packaging	28pcs/pallet
Module quantity per container	336pcs/20'GP, 784pcs/40'GP

Temperature Characteristics

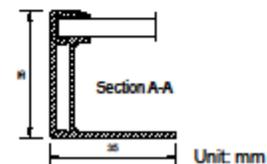
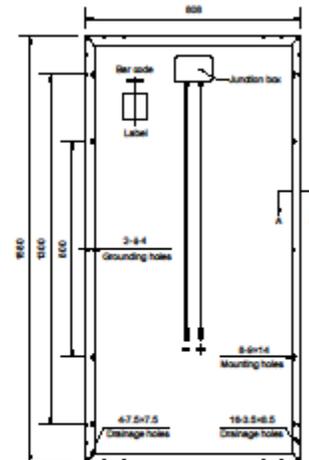
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.43%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.33%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.056%/°C

Maximum Ratings

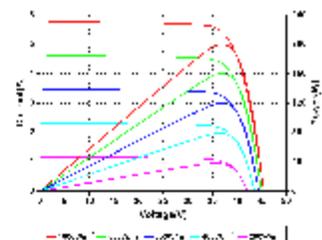
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC
Maximum Series Fuse Rating	10A

Specifications in this datasheet are subject to change without prior notice.

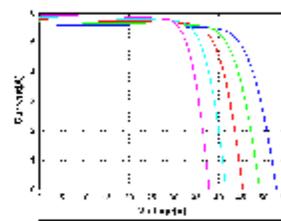
Drawings



I-V Curves



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different Temperatures

Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Limited

Tel: +1-850-777-7806

Email: sales@weamerisolar.com

www.weamerisolar.com

EN-V1.0 Copyright © 2014 Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Limited.

Anexo IV

Performance del sistema fotovoltaico de conexión a red para sistema de almacenamiento de 5,52 kWh.

Enero	Generada		Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada	(Sobra energía-Batería no cargada)	Falta energía-Batería no cargada	(Sobra energía-Batería cargada)
	Demandada	0,588							Extraida de batería	Inyectada a batería	Extraida de la red	Inyectada a la red
0:00	0,000	0,000	0,588	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,588	0,000
1:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313	0,000
2:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313	0,000
3:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313	0,000
4:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313	0,000
5:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313	0,000
6:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313	0,000
7:00	0,000	0,405	-0,405	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,405	0,000
8:00	0,000	0,594	-0,594	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,594	0,000
9:00	0,592	0,779	-0,187	0,592	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,187	0,000
10:00	1,359	1,552	-0,193	1,359	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,193	0,000
11:00	1,906	1,368	0,538	1,368	20%	1,104	1,642	30%	0,000	0,538	0,000	0,000
12:00	2,243	1,275	0,968	1,275	30%	1,642	2,610	47%	0,000	0,968	0,000	0,000
13:00	2,381	1,275	1,106	1,275	47%	2,610	3,716	67%	0,000	1,106	0,000	0,000
14:00	2,318	1,280	1,038	1,280	67%	3,716	4,754	86%	0,000	1,038	0,000	0,000
15:00	1,938	1,372	0,566	1,372	86%	4,754	5,320	96%	0,000	0,566	0,000	0,000
16:00	1,497	1,372	0,125	1,372	96%	5,320	5,445	99%	0,000	0,125	0,000	0,000
17:00	0,705	1,368	-0,663	0,705	99%	5,445	4,782	87%	0,663	0,000	0,000	0,000
18:00	0,000	1,368	-1,368	0,000	87%	4,782	3,415	62%	1,368	0,000	0,000	0,000
19:00	0,000	1,368	-1,368	0,000	62%	3,415	2,047	37%	1,368	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	1,372	-1,372	0,000	37%	2,047	1,104	20%	0,943	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	1,741	-1,741	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,741	0,000
22:00	0,000	1,557	-1,557	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,557	0,000
23:00	0,000	1,368	-1,368	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,368	0,000
14,939	23,878	10,599							4,341	4,341	8,938	0,000

Febrero	Generada		Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada	(Sobra energía-Batería no cargada)	Falta energía-Batería no cargada	(Sobra energía-Batería cargada)
	Demandada	0,520							Extraida de batería	Inyectada a batería	Extraida de la red	Inyectada a la red
0:00	0,000	0,520	-0,520	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,520	0,000
1:00	0,000	0,309	-0,309	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,309	0,000
2:00	0,000	0,309	-0,309	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,309	0,000
3:00	0,000	0,309	-0,309	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,309	0,000
4:00	0,000	0,309	-0,309	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,309	0,000
5:00	0,000	0,309	-0,309	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,309	0,000
6:00	0,000	0,309	-0,309	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,309	0,000
7:00	0,000	0,400	-0,400	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,400	0,000
8:00	0,032	0,586	-0,554	0,032	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,554	0,000
9:00	0,930	0,768	0,163	0,768	20%	1,104	1,267	23%	0,000	0,163	0,000	0,000
10:00	1,713	1,322	0,391	1,322	23%	1,267	1,657	30%	0,000	0,391	0,000	0,000
11:00	2,267	1,140	1,127	1,140	30%	1,657	2,784	50%	0,000	1,127	0,000	0,000
12:00	2,573	1,049	1,524	1,049	50%	2,784	4,308	78%	0,000	1,524	0,000	0,000
13:00	2,731	1,049	1,682	1,049	78%	4,308	5,520	100%	0,000	1,212	0,000	0,470
14:00	2,670	1,054	1,617	1,054	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,617	0,000
15:00	2,408	1,145	1,263	1,145	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,263	0,000
16:00	1,883	1,145	0,738	1,145	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,738	0,000
17:00	1,164	1,140	0,023	1,140	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,023	0,000
18:00	0,184	1,140	-0,956	0,184	100%	5,520	4,564	83%	0,956	0,000	0,000	0,000
19:00	0,000	1,140	-1,140	0,000	83%	4,564	3,424	62%	1,140	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	1,145	-1,145	0,000	62%	3,424	2,279	41%	1,145	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	1,508	-1,508	0,000	41%	2,279	1,104	20%	1,175	0,000	0,333	0,000
22:00	0,000	1,326	-1,326	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,326	0,000
23:00	0,000	1,140	-1,140	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,140	0,000
18,554	20,568	10,027							4,416	4,416	6,125	4,111

Marzo	Generada		Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada	(Sobra energía-Batería no cargada)	Falta energía-Batería no cargada	(Sobra energía-Batería cargada)
	Demandada	0,453							Extraida de batería	Inyectada a batería	Extraida de la red	Inyectada a la red
0:00	0,000	0,453	-0,453	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,453	0,000
1:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304	0,000
2:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304	0,000
3:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304	0,000
4:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304	0,000
5:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304	0,000
6:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304	0,000
7:00	0,001	0,394	-0,393	0,001	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,393	0,000
8:00	0,427	0,577	-0,150	0,427	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,150	0,000
9:00	1,210	0,757	0,454	0,757	20%	1,104	1,558	28%	0,000	0,454	0,000	0,000
10:00	1,884	1,092	0,792	1,092	28%	1,558	2,350	43%	0,000	0,792	0,000	0,000
11:00	2,429	0,913	1,517	0,913	43%	2,350	3,867	70%	0,000	1,517	0,000	0,000
12:00	2,725	0,823	1,902	0,823	70%	3,867	5,520	100%	0,000	1,653	0,000	0,249
13:00	2,663	0,823	1,839	0,823	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,839	0,000
14:00	2,637	0,828	1,809	0,828	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,809	0,000
15:00	2,311	0,917	1,394	0,917	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,394	0,000
16:00	1,867	0,917	0,950	0,917	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,950	0,000
17:00	1,256	0,913	0,343	0,913	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,343	0,000
18:00	0,522	0,913	-0,391	0,522	100%	5,520	5,129	93%	0,391	0,000	0,000	0,000
19:00	0,002	0,913	-0,910	0,002	93%	5,129	4,219	76%	0,910	0,000	0,000	0,000
20:00	0,000	0,917	-0,917	0,000	76%	4,219	3,301	60%	0,917	0,000	0,000	0,000
21:00	0,000	1,275	-1,275	0,000	60%	3,301	2,026	37%	1,275	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	1,096	-1,096	0,000	37%	2,026	1,104	20%	0,922	0,000	0,174	0,000
23:00	0,000	0,913	-0,913	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,913	0,000
19,935	17,260	8,935							4,416	4,416	3,909	6,585

Abril	Generada		Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada	(Sobra energía-Batería no cargada)	Falta energía-Batería no cargada	(Sobra energía-Batería cargada)
	Demandada	0,385							Extraida de batería	Inyectada a batería	Extraida de la red	Inyectada a la red
0:00	0,000	0,385	-0,385	0,000	39%	2,155	1,770	32%	0,385	0,000	0,000	0,000
1:00	0,000	0,296	-0,296	0,000	32%	1,770	1,474	27%	0,296	0,000	0,000	0,000
2:00	0,000	0,296	-0,296	0,000	27%	1,474	1,178	21%	0,296	0,000	0,000	0,000
3:00	0,000	0,296	-0,296	0,000	21%	1,178	1,104	20%	0,000	0,000	0,222	0,000
4:00	0,000	0,296	-0,296	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,296	0,000
5:00	0,000	0,296	-0,296	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,296	0,000
6:00	0,000	0,296	-0,296	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,296	0,000
7:00	0,000	0,383	-0,383	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,383	0,000
8:00	0,122	0,561	-0,439	0,122	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,439	0,000
9:00	0,693	0,734	-0,042	0,693	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,042	0,000
10:00	1,324	0,868	0,456	0,868	20%	1,104	1,560	28%	0,000	0,456	0,000	0,000
11:00	1,969	0,695	1,274	0,695	28%	1,560	2,894	51%	0,000	1,274	0,000	0,000
12:00	2,385	0,609	1,777									

Mayo	Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,299	-0,299	0,000	66%	3,641	3,343	61%	0,299	0,000	0,000	0,000
1:00	0,000	0,299	-0,299	0,000	61%	3,343	3,044	55%	0,299	0,000	0,000	0,000
2:00	0,000	0,299	-0,299	0,000	55%	3,044	2,745	50%	0,299	0,000	0,000	0,000
3:00	0,000	0,299	-0,299	0,000	50%	2,745	2,446	44%	0,299	0,000	0,000	0,000
4:00	0,000	0,299	-0,299	0,000	44%	2,446	2,147	39%	0,299	0,000	0,000	0,000
5:00	0,000	0,299	-0,299	0,000	39%	2,147	1,848	33%	0,299	0,000	0,000	0,000
6:00	0,000	0,284	-0,284	0,000	33%	1,848	1,564	28%	0,284	0,000	0,000	0,000
7:00	0,039	0,366	-0,327	0,039	28%	1,564	1,238	22%	0,327	0,000	0,000	0,000
8:00	0,220	0,536	-0,315	0,220	22%	1,238	1,104	20%	0,134	0,000	0,182	0,000
9:00	0,768	0,701	0,067	0,701	20%	1,104	1,171	21%	0,000	0,067	0,000	0,000
10:00	1,389	0,531	0,858	0,531	21%	1,171	2,029	37%	0,000	0,858	0,000	0,000
11:00	1,959	0,366	1,592	0,366	37%	2,029	3,622	66%	0,000	1,592	0,000	0,000
12:00	2,319	0,299	2,021	0,299	66%	3,622	5,520	100%	0,000	1,898	0,000	0,122
13:00	2,512	0,314	2,197	0,314	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	2,197
14:00	2,572	0,319	2,253	0,319	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	2,253
15:00	2,465	0,401	2,064	0,401	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	2,064
16:00	2,191	0,401	1,789	0,401	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,789
17:00	1,726	0,397	1,329	0,397	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,329
18:00	1,135	0,397	0,738	0,397	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,738
19:00	0,536	0,389	0,146	0,389	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,146
20:00	0,161	0,394	-0,233	0,161	100%	5,520	5,287	96%	0,233	0,000	0,000	0,000
21:00	0,003	0,716	-0,713	0,003	96%	5,287	4,574	83%	0,713	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,551	-0,551	0,000	83%	4,574	4,023	73%	0,551	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,381	-0,381	0,000	73%	4,023	3,641	66%	0,381	0,000	0,000	0,000
	19,995	9,537		4,939					4,416		4,416	10,639

Junio	Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,449	-0,449	0,000	55%	3,018	2,570	47%	0,449	0,000	0,000	0,000
1:00	0,000	0,449	-0,449	0,000	47%	2,570	2,121	38%	0,449	0,000	0,000	0,000
2:00	0,000	0,449	-0,449	0,000	38%	2,121	1,672	30%	0,449	0,000	0,000	0,000
3:00	0,000	0,449	-0,449	0,000	30%	1,672	1,224	22%	0,449	0,000	0,000	0,000
4:00	0,000	0,449	-0,449	0,000	22%	1,224	1,104	20%	0,120	0,000	0,329	0,000
5:00	0,000	0,449	-0,449	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,449	0,000
6:00	0,000	0,275	-0,275	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,275	0,000
7:00	0,085	0,355	-0,270	0,085	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,270	0,000	0,000
8:00	0,250	0,519	-0,269	0,250	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,269	0,000	0,000
9:00	0,761	0,679	0,082	0,679	20%	1,104	1,186	21%	0,000	0,082	0,000	0,000
10:00	1,393	0,514	0,878	0,514	21%	1,186	2,064	37%	0,000	0,878	0,000	0,000
11:00	1,920	0,355	1,565	0,355	37%	2,064	3,630	66%	0,000	1,565	0,000	0,000
12:00	2,316	0,449	1,867	0,449	66%	3,630	5,497	100%	0,000	1,867	0,000	0,000
13:00	2,546	0,622	1,924	0,622	100%	5,497	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,924
14:00	2,625	0,627	1,998	0,627	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,998
15:00	2,498	0,706	1,792	0,706	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,792
16:00	2,163	0,706	1,457	0,706	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,457
17:00	1,710	0,702	1,008	0,702	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,008
18:00	1,153	0,702	0,451	0,702	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,451
19:00	0,552	0,615	-0,063	0,552	100%	5,520	5,457	99%	0,063	0,000	0,000	0,000
20:00	0,205	0,620	-0,415	0,205	99%	5,457	5,042	91%	0,415	0,000	0,000	0,000
21:00	0,049	0,852	-0,803	0,049	91%	5,042	4,239	77%	0,803	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,692	-0,692	0,000	77%	4,239	3,547	64%	0,692	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,528	-0,528	0,000	64%	3,547	3,018	55%	0,528	0,000	0,000	0,000
	20,227	13,211		7,203					4,416		4,416	8,608

Julio	Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,611	-0,611	0,000	40%	2,186	1,576	29%	0,611	0,000	0,000	0,000
1:00	0,000	0,611	-0,611	0,000	29%	1,576	1,104	20%	0,472	0,000	0,139	0,000
2:00	0,000	0,611	-0,611	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,611	0,000
3:00	0,000	0,611	-0,611	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,611	0,000
4:00	0,000	0,611	-0,611	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,611	0,000
5:00	0,000	0,611	-0,611	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,611	0,000
6:00	0,000	0,263	-0,263	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,263	0,000
7:00	0,042	0,338	-0,296	0,042	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,296	0,000
8:00	0,214	0,494	-0,280	0,214	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,280	0,000	0,000
9:00	0,723	0,645	0,078	0,645	20%	1,104	1,182	21%	0,000	0,078	0,000	0,000
10:00	1,395	0,489	0,906	0,489	21%	1,182	2,088	38%	0,000	0,906	0,000	0,000
11:00	1,996	0,338	1,658	0,338	38%	2,088	3,747	68%	0,000	1,658	0,000	0,000
12:00	2,456	0,611	1,846	0,611	68%	3,747	5,520	100%	0,000	1,773	0,000	0,072
13:00	2,725	0,959	1,766	0,959	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,766
14:00	2,809	0,964	1,845	0,964	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,845
15:00	2,645	1,039	1,606	1,039	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,606
16:00	2,352	1,039	1,313	1,039	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,313
17:00	1,881	1,035	0,846	1,035	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,846
18:00	1,286	1,035	0,251	1,035	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	0,251
19:00	0,667	0,861	-0,194	0,667	100%	5,520	5,326	96%	0,194	0,000	0,000	0,000
20:00	0,205	0,865	-0,660	0,205	96%	5,326	4,666	85%	0,660	0,000	0,000	0,000
21:00	0,043	0,993	-0,950	0,043	85%	4,666	3,715	67%	0,950	0,000	0,000	0,000
22:00	0,000	0,842	-0,842	0,000	67%	3,715	2,873	52%	0,842	0,000	0,000	0,000
23:00	0,000	0,686	-0,686	0,000	52%	2,873	2,186	40%	0,686	0,000	0,000	0,000
	21,440	17,162		9,325					4,416		4,416	3,421

Agosto	Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,602	-0,602	0,000	38%	2,075	1,473	27%	0,602	0,000	0,000	0,000
1:00	0,000	0,602	-0,602	0,000	27%	1,473	1,104	20%	0,369	0,000	0,232	0,000
2:00	0,000	0,602	-0,602	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,602	0,000
3:00	0,000	0,602	-0,602	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,602	0,000
4:00	0,000	0,602	-0,602	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,602	0,000
5:00	0,000	0,602	-0,602	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,602	0,000
6:00	0,000	0,267	-0,267	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,267	0,000
7:00	0,000	0,344	-0,344	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,344	0,000
8:00	0,147	0,502	-0,355	0,147	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,355	0,000
9:00	0,700	0,656	0,044	0,656	20%	1,104	1,148	21%	0,000	0,044	0,000	0,000
10:00	1,388	0,498	0,890	0,498	21%	1,148	2,038	37%	0,000	0,890	0,000	0,000
11:00	2,009	0,344	1,665	0,344	37%	2,038	3,703	67%	0,000	1,665	0,000	0,000
12:00	2,470	0,602	1,869	0,602	67%	3,703	5,520	100%	0,000	1,817	0,000	0,052
13:00	2,733	0,936	1,796	0,936	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	1,796
14:00	2,802	0,941	1,861	0,941	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,000	

Septiembre											
Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,529	-0,529	0,000	40%	2,201	2,672	30%	0,529	0,000	0,000
1:00	0,000	0,529	-0,529	0,000	30%	1,672	1,143	21%	0,529	0,000	0,000
2:00	0,000	0,529	-0,529	0,000	21%	1,143	1,104	20%	0,039	0,000	0,490
3:00	0,000	0,529	-0,529	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,529
4:00	0,000	0,529	-0,529	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,529
5:00	0,000	0,529	-0,529	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,529
6:00	0,000	0,275	-0,275	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,275
7:00	0,000	0,355	-0,355	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,355
8:00	0,061	0,519	-0,458	0,061	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,458
9:00	0,672	0,679	-0,006	0,672	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,006
10:00	1,392	0,514	0,877	0,514	20%	1,104	1,981	36%	0,000	0,877	0,000
11:00	2,044	0,355	1,689	0,355	36%	1,981	3,670	66%	0,000	1,689	0,000
12:00	2,529	0,529	2,000	0,529	66%	3,670	5,520	100%	0,000	1,850	0,150
13:00	2,818	0,783	2,035	0,783	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	2,035
14:00	2,844	0,787	2,057	0,787	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	2,057
15:00	2,718	0,867	1,851	0,867	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,851
16:00	2,313	0,867	1,446	0,867	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,446
17:00	1,818	0,863	0,955	0,863	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,955
18:00	1,162	0,863	0,300	0,863	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,300
19:00	0,462	0,736	-0,274	0,462	100%	5,520	5,247	95%	0,273	0,000	0,000
20:00	0,008	0,740	-0,732	0,008	95%	5,247	4,515	82%	0,732	0,000	0,000
21:00	0,000	0,932	-0,932	0,000	82%	4,515	3,583	65%	0,932	0,000	0,000
22:00	0,000	0,773	-0,773	0,000	65%	3,583	2,810	51%	0,773	0,000	0,000
23:00	0,000	0,609	-0,609	0,000	51%	2,810	2,201	40%	0,609	0,000	0,000
	20,841	15,219							4,416	4,416	3,172
											8,794
Octubre											
Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,315	-0,315	0,000	49%	2,729	2,414	44%	0,315	0,000	0,000
1:00	0,000	0,288	-0,288	0,000	44%	2,414	2,127	39%	0,288	0,000	0,000
2:00	0,000	0,288	-0,288	0,000	39%	2,127	1,839	33%	0,288	0,000	0,000
3:00	0,000	0,288	-0,288	0,000	33%	1,839	1,551	28%	0,288	0,000	0,000
4:00	0,000	0,288	-0,288	0,000	28%	1,551	1,264	23%	0,288	0,000	0,000
5:00	0,000	0,288	-0,288	0,000	23%	1,264	1,104	20%	0,160	0,000	0,128
6:00	0,000	0,288	-0,288	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,288
7:00	0,000	0,372	-0,372	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,372
8:00	0,000	0,544	-0,544	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,544
9:00	0,523	0,712	-0,189	0,523	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,189
10:00	1,276	0,635	0,640	0,635	20%	1,104	1,744	32%	0,000	0,640	0,000
11:00	1,817	0,467	1,349	0,467	32%	1,744	3,094	56%	0,000	1,349	0,000
12:00	2,353	0,384	1,969	0,384	56%	3,094	5,063	92%	0,000	1,969	0,000
13:00	2,654	0,384	2,271	0,384	92%	5,063	5,520	100%	0,000	0,457	0,184
14:00	2,633	0,388	2,245	0,388	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	2,245
15:00	2,521	0,472	2,049	0,472	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	2,049
16:00	2,085	0,472	1,613	0,472	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,613
17:00	1,570	0,467	1,102	0,467	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	1,102
18:00	0,830	0,467	0,362	0,467	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,362
19:00	0,064	0,467	-0,403	0,064	100%	5,520	5,117	93%	0,403	0,000	0,000
20:00	0,000	0,472	-0,472	0,000	93%	5,117	4,645	84%	0,472	0,000	0,000
21:00	0,000	0,808	-0,808	0,000	84%	4,645	3,837	70%	0,808	0,000	0,000
22:00	0,000	0,640	-0,640	0,000	70%	3,837	3,197	58%	0,640	0,000	0,000
23:00	0,000	0,467	-0,467	0,000	58%	3,197	2,729	49%	0,467	0,000	0,000
	18,326	10,660		4,724					4,416	4,416	1,520
											9,186
Noviembre											
Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,489	-0,489	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,489
1:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304
2:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304
3:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304
4:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304
5:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304
6:00	0,000	0,304	-0,304	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,304
7:00	0,000	0,394	-0,394	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,394
8:00	0,072	0,577	-0,505	0,072	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,505
9:00	0,983	0,757	0,226	0,757	20%	1,104	1,330	24%	0,000	0,226	0,000
10:00	1,540	1,220	0,320	1,220	24%	1,330	1,650	30%	0,000	0,320	0,000
11:00	1,990	1,041	0,949	1,041	30%	1,650	2,599	47%	0,000	0,949	0,000
12:00	2,299	0,952	1,347	0,952	47%	2,599	3,946	71%	0,000	1,347	0,000
13:00	2,406	0,952	1,454	0,952	71%	3,946	5,400	98%	0,000	1,454	0,000
14:00	2,243	0,956	1,287	0,956	98%	5,400	5,520	100%	0,000	0,120	0,167
15:00	1,823	1,046	0,777	1,046	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,777
16:00	1,273	1,046	0,227	1,046	100%	5,520	5,520	100%	0,000	0,000	0,227
17:00	0,527	1,041	-0,514	0,527	100%	5,520	5,006	91%	0,514	0,000	0,000
18:00	0,000	1,041	-1,041	0,000	91%	5,006	3,965	72%	1,041	0,000	0,000
19:00	0,000	1,041	-1,041	0,000	72%	3,965	2,924	53%	1,041	0,000	0,000
20:00	0,000	1,046	-1,046	0,000	53%	2,924	1,878	34%	1,046	0,000	0,000
21:00	0,000	1,404	-1,404	0,000	34%	1,878	1,104	20%	0,774	0,000	0,629
22:00	0,000	1,225	-1,225	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,225
23:00	0,000	1,041	-1,041	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,041
	15,156	19,094		8,968					4,416	4,416	6,110
											2,171
Diciembre											
Generada	Demandada	Balance	Autoconsumo	% Batería	Carga batería	Nueva carga batería	Nuevo % Batería	Falta energía-Batería cargada Extraída de batería	(Sobra energía-Batería no cargada) Inyectada a batería	Falta energía-Batería no cargada Extraída de la red	(Sobra energía-Batería cargada) Inyectada a la red
0:00	0,000	0,566	-0,566	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,566
1:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313
2:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313
3:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313
4:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313
5:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313
6:00	0,000	0,313	-0,313	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,313
7:00	0,000	0,405	-0,405	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,405
8:00	0,000	0,594	-0,594	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,594
9:00	0,697	0,779	-0,081	0,697	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,081
10:00	1,379	1,478	-0,099	1,379	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	0,099
11:00	1,839	1,293	0,546	1,293	20%	1,104	1,650	30%	0,000	0,546	0,000
12:00	2,167	1,201	0,966	1,201	30%	1,650	2,616	47%	0,000	0,966	0,000
13:00	2,243	1,201	1,042	1,201	47%	2,616	3,659	66%	0,000	1,042	0,000
14:00	2,092	1,205	0,887	1,205	66%	3,659	4,546	82%	0,000	0,887	0,000
15:00	1,766	1,297	0,469	1,297	82%	4,546	5,015	91%	0,000	0,469	0,000
16:00	1,285	1,297	-0,013	1,285	91%	5,015	5,002	91%	0,013	0,000	0,000
17:00	0,448	1,293	-0,845	0,448	91%	5,002	4,157	75%	0,845	0,000	0,000
18:00	0,000	1,293	-1,293	0,000	75%	4,157	2,864	52%	1,293	0,000	0,000
19:00	0,000	1,293	-1,293	0,000	52%	2,864	1,571	28%	1,293	0,000	0,000
20:00	0,000	1,297	-1,297	0,000	28%	1,571	1,104	20%	0,467	0,000	0,830
21:00	0,000	1,667	-1,667	0,000	20%	1,104	1,104	20%	0,000	0,000	1,667