

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

**TRABAJO FIN DE GRADO**

***DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED CON INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA***

**Alumno:** Agraso González, Adrián

**Directora:** Otaegi Aizpeolea, Aloña

**Curso:** 2018-2019

**Fecha:** 22 de julio de 2019

## Resumen

En este Trabajo de Fin de Grado (TFG de aquí en adelante) se ha abordado el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica para autoconsumo con integración arquitectónica para una vivienda unifamiliar aislada de la red.

Partiendo de los datos de ubicación de la vivienda se ha realizado un estudio climatológico básico gracias al software de PVSyst en el que se ha obtenido los datos de irradiación solar y Horas Solar Pico para diversas orientaciones e inclinaciones. Posteriormente se ha procedido a presentar un esquema general de la instalación diseñada y una breve explicación del funcionamiento de los distintos componentes vistos en el esquema.

Una vez presentado el sistema y la climatología de la zona, se ha realizado una estimación del consumo de la vivienda objeto de este estudio y a partir de todos estos datos se ha procedido a dimensionar la instalación fotovoltaica, empezando por las placas fotovoltaicas, para después continuar con el sistema de acumulación, el regulador, el inversor y el cableado. Una vez obtenidas las características que definen estos elementos se han caracterizado presentando las marcas y modelos escogidos, y se ha realizado una presupuestación tanto de la memoria técnica realizada como de la instalación diseñada.

En el marco de la organización de este proyecto se han definido una serie de tareas y subtareas que esquematizan el proceso de diseño y dimensionamiento de la instalación y la elaboración de este documento, junto a unos tiempos estimados iniciales y reales, dando forma de esta manera al diagrama de Gantt de este Trabajo de Fin de Grado.

Finalizado el diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, se muestra la planificación del proyecto y el presupuesto del mismo dividiéndolo los costes según pertenezcan a RRHH, herramientas utilizadas en la elaboración del TFG o materiales y componentes de la instalación diseñados. Finalmente se indican las conclusiones del TFG desde un punto de vista técnico y personal.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, radiación solar, Integración arquitectónica, autoconsumo, dimensionamiento, aislada, viabilidad.

## Abstract

The design and dimensioning of a photovoltaic installation for self-consumption with architectural integration for a single-family house isolated from the grid has been approached in this End of Degree Assignment.

Starting from the location data of the house, a basic climatological study has been carried out thanks to the PVSyst software in which the solar irradiation data and Peak Sun Hours (PSH) have been obtained for different orientations and inclinations. Subsequently, a general diagram of the designed installation and a brief explanation of the operation of the different components seen in the diagram have been presented.

Once the system and the climatology of the area have been presented, an estimate have been made of the consumption of the dwelling object of this study and from all these data the photovoltaic installation have been dimensioned, starting with the photovoltaic panels, and then continuing with the accumulation system, the regulator, the inverter and the wiring. Once the characteristics defining these elements have been obtained, they have been characterized by presenting the brands and models chosen, and a budgeting has been carried out for both the technical memory carried out and the installation designed.

Within the framework of the organization of this project, a series of tasks and sub-tasks have been defined which outline the process of design and dimensioning of the installation and the preparation of this document, together with initial and real estimated times, thus giving shape to the Gantt diagram of this End of Degree Assignment.

Once the design and sizing of the photovoltaic installation has been completed, the project planning and budget are shown, dividing the costs according to whether they belong to human resources, tools used in the elaboration of the Final Degree Project or materials and components of the installation designed. Finally, the conclusions of the Final Degree Project have been indicated from a technical and personal point of view.

Keywords: Photovoltaic energy, solar radiation, Architectural integration, self-consumption, sizing, isolated, viability.

## Laburpena

Gradu amaierako lan honetan (TFG hemendik aurrera) familia bakarrerako etxebizitzarentzako instalazio fotovoltaiako baten diseinu eta dimentsionatua garatzen da, sare elektrikotik isolatuta dagoena eta integrazio arkitektonikoarekin.

Hasteko, etxebizitzaren kokapen datuetatik abiatuta oinarritzko estudio klimatologikoa egin da, PVSyst softwarea erabilia, eguzki-erradiazio datuak eta eguzki ordu pikoak aztertuta, orientazio eta inklinazio desberdinetarako. Gero, instalazioaren eskema orokor bat landu da, bai eta eskema horretan agertutako osagai desberdinen funtzionamenduaren azalpen laburra.

Behin sistema eta eskualdearen klimatologiak aurkeztuta, etxebizitzaren kontsumoaren estimazio arrazoitua landu da; datu hauetatik aurrera, plaka fotovoltaiakoengatik hasiz, instalazio fotovoltaiakoa dimentsionatzeari ekin zaio, metaketa-sistemarekin, erreguladorearekin, inbertitzailearekin eta kableatuarekin jarraituta. Instalazioko elementuak definitzen dituzten ezaugarriak aztertuta, aukeratutako modeloak aurkeztu dira eta horietan oinarrituta proiektuaren aurrekontua garatu da. Alde batetik, memoria teknikoaren ingurukoa eta beste alde batetik dimentsionamenduarena.

Proiektu honen antolaketaren aldetik, Gantt diagrama burutu da. Proiektua atazatan eta azpi-atazatan banatu da, diseinua eta dimentsionamendu-prozesua eskematikoki laburbilduko dutenak. Gantt diagramaren bitartez proiektuaren diseinu eta dimentsionamendua denboran mugatu da.

Bukatzeko, kostu ekonomikoa aztertzen da. Alde batetik giza-baliabideak eta memoria teknikoa garatzeko kostua, eta beste aldetik aukeratutako materialen kostua. Azkenik TFGan proiektua garatzeak eragiten dituen ondorioak idatzi dira, ikuspuntu tekniko zein pertsonaletik landuak.

Gako-hitzak: energia fotovoltaiako, eguzki-erradiazio, integrazio-arkitektoniko, autokontsumo, dimentsionamendu, isolatu, bideragarritasun.

## Índice de contenidos

1.	Introducción .....	8
2.	Objetivo .....	11
3.	Metodología de diseño.....	12
4.	Estudio climatológico .....	13
4.1.	Localización .....	13
4.2.	Estudio.....	14
5.	Diseño del sistema para autoconsumo .....	18
5.1.	Esquema general del sistema.....	18
5.2.	Funcionamiento de los componentes.....	19
6.	Dimensionamiento del sistema .....	23
6.1.	Estimación del consumo .....	23
6.1.1.	Distribución de la vivienda .....	23
6.1.2.	Consumos de la vivienda.....	24
6.2.	Dimensionado del generador fotovoltaico .....	28
6.3.	Dimensionado del sistema de acumulación.....	31
6.4.	Dimensionado del regulador.....	33
6.5.	Dimensionado del inversor .....	34
6.6.	Dimensionado del cableado.....	35
6.7.	Diseño y colocación de los sistemas .....	35
6.8.	Estudio de sombras.....	39
6.9.	Corrección del dimensionamiento.....	41
7.	Selección de componentes.....	45
8.	Planificación del proyecto .....	47
8.1.	Desglose de la planificación .....	47
8.2.	Diagrama de Gantt.....	51
9.	Análisis económico .....	52
9.1.	Presupuesto de la memoria técnica.....	52
9.2.	Presupuesto de la instalación .....	54
10.	Conclusiones.....	59
10.1.	Conclusiones del trabajo de fin de grado.....	59
10.2.	Conclusiones personales .....	60
11.	Bibliografía.....	61

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema general del sistema a diseñar .....	12
Ilustración 2. Mapa orientativo de la región vizcaína .....	13
Ilustración 3. Mapa específico del emplazamiento de la vivienda afectada.....	13
Ilustración 4. Ortofoto del emplazamiento de la vivienda afectada.....	13
Ilustración 5. Vista de la vivienda afectada .....	13
Ilustración 6. Esquema general por bloques del sistema.....	18
Ilustración 7. Ubicación de los cuatro primeros módulos.....	36
Ilustración 8. Primera posibilidad de colocación de los módulos con peor orientación	36
Ilustración 9. Segunda posibilidad para los módulos con peor orientación .....	37
Ilustración 10. Primera posibilidad de colocación de las últimas placas solares .....	37
Ilustración 11. Segunda posibilidad de colocación de las últimas placas solares .....	38
Ilustración 12. Nueva posibilidad de colocación de las placas solares .....	38
Ilustración 13. Ubicación final escogida para el proyecto.....	39
Ilustración 14. Sombras proyectadas a las 08:23h en diciembre.....	40
Ilustración 15. Sombras proyectadas a las 09:22h en diciembre.....	40
Ilustración 16. Sombras proyectadas a las 10:43h en diciembre.....	40
Ilustración 17. Sombras proyectadas a las 12:52h en diciembre.....	40
Ilustración 18. Sombras proyectadas a las 15:38h en diciembre.....	40
Ilustración 19. Sombras proyectadas a las 17:20h en diciembre.....	40
Ilustración 20. Colocación de los paneles orientados con azimut +103º y -77º .....	41
Ilustración 21. Ubicación de las placas tras la corrección .....	42
Ilustración 22. Sombras a las 09:14h.....	43
Ilustración 23. Estudio de sombras entre las 4h y las 5h de la tarde.....	43
Ilustración 24. Sombras al mediodía .....	44
Ilustración 25. Diagrama de Gantt del Trabajo de Fin de Grado.....	51
Ilustración 26. Distribución de costes de la memoria técnica .....	54
Ilustración 27. Distribución de costes de la instalación .....	55
Ilustración 28. Factura eléctrica anual de la vivienda .....	56
Ilustración 29. Gráfico de amortización de la instalación diseñada.....	58

## Índice de tablas

Tabla 1. Datos de irradiación solar según fuente PVGIS .....	14
Tabla 2. Datos de Horas Solar Pico según fuente PVGIS .....	15
Tabla 3. Datos de irradiación solar según fuente NASA .....	15
Tabla 4. Datos de Horas Solar Pico según fuente NASA.....	16
Tabla 5. Datos de irradiación solar según fuente METEONORM .....	16
Tabla 6. Datos de Horas Solar Pico según fuente METEONORM .....	17
Tabla 7. Distribución de la vivienda.....	23
Tabla 8. Consumo de la planta sótano .....	25
Tabla 9. Consumo de la planta bajo cubierta .....	25
Tabla 10. Consumo de la planta vivienda.....	26
Tabla 11. Consumos totales estimados .....	27
Tabla 12. Datos de radiación solar y HSP para inclinación de 27º y azimut +103º.....	29
Tabla 13. Datos de radiación solar y HSP para inclinación de 27º y azimut -77º.....	30
Tabla 14. Datos de radiación solar y HSP para inclinación de 27º y azimut +15º.....	30
Tabla 15. Valores de resistividad para el cobre y el aluminio .....	35
Tabla 16. Costes de los RRHH involucrados en el proyecto. ....	52
Tabla 17. Costes de los equipos y el software utilizados en el proyecto. ....	53
Tabla 18. Costes de la instalación fotovoltaica diseñada.....	54
Tabla 19. Cálculo de la factura eléctrica ahorrada .....	56

## 1. Introducción

La sociedad se encuentra actualmente ante grandes retos entre los que destacan los relacionados con el cambio climático. La concienciación, la educación, la investigación... hay muchos ámbitos desde los que se está tratando de abordar este tema. Un ejemplo de visibilidad de estos movimientos está en las protestas de los jóvenes estudiantes del mundo entero, iniciadas por la estudiante sueca Greta Thunberg, quien una vez a la semana, no acude a la escuela para protestar ante la inactividad del mundo frente al calentamiento global con frases como: *“No quiero que tengas esperanza, quiero que entres en pánico. Quiero que sientas el miedo que siento todos los días y luego quiero que actúes”* (Thunberg, 2019).

En España se acaba de vivir un cambio de normativa con la entrada en vigor de los recientemente aprobados Real Decreto-ley 15/2018 y Real Decreto 244/2019 de 5 de abril por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, y en los que, entre otras disposiciones, se deroga el llamado *Impuesto al Sol*, que viene frenando la transición energética de este país.

A colación del cambio de normativa, este Trabajo de Fin de Grado diseñará y dimensionará una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo con integración arquitectónica para una vivienda unifamiliar aislada de la red, de forma que la huella de CO<sub>2</sub> de esta vivienda se vea reducida y se constate la posibilidad de independizarse de la red eléctrica que actualmente sigue distribuyendo cerca de un 60% de energía procedente de fuentes no renovables.

Uno de los motivos más importantes para el uso de energía solar fotovoltaica se da al no tener que hacer uso de fuentes de energía no renovables como las centrales térmicas, nucleares, hidroeléctricas... Estas conllevan la emisión de gases contaminantes como el CO<sub>2</sub> o el metano, residuos altamente contaminantes y, en ocasiones, la alteración medioambiental de la zona donde se ubican. Las instalaciones de autoconsumo no solo utilizan una fuente limpia e inagotable, sino que también se adaptan a las construcciones dónde se implantan sin conllevar una contaminación visual relevante.

Como se pretende demostrar con este TFG, una instalación de autoconsumo fotovoltaico puede satisfacer todas las necesidades energéticas de una vivienda o empresa, ahorrando así el gasto en electricidad mensual. Este ahorro viene explicado por dos factores determinantes: la subida en el precio de la electricidad que viene dándose en los últimos tiempos y la tendencia decreciente de los precios de los equipos fotovoltaicos. Estas dos características de las instalaciones fotovoltaicas se combinan para lograr una rápida amortización. Por ello, el ahorro económico que puede suponer una de estas instalaciones compone uno de sus mayores beneficios, aunque este dependerá de las condiciones y necesidades de cada vivienda, empresa...

Este estudio será llevado a cabo en el ámbito del Trabajo de Fin de Grado del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la UPV/EHU, con la colaboración de la directora de este TFG, durante el segundo y tercer trimestre del año 2019, coincidiendo con grandes cambios normativos en materia de autoconsumo.

Este TFG se ha estructurado en seis apartados básicos, que son:

- El estudio climatológico básico del lugar donde se va ubicar el estudio, obteniendo como resultado las tablas de radiación solar y Horas Solar Pico.
- Las características de la vivienda sobre la que se dimensionará el sistema, conociendo en este apartado la distribución de la vivienda y sus necesidades energéticas.
- El dimensionamiento de los componentes que formarán la instalación fotovoltaica aislada de la red para abastecer la vivienda.
- La posterior caracterización de los componentes dimensionados a través de la selección de productos comerciales disponibles en el mercado.
- El análisis económico de este estudio donde se tendrán en cuenta los recursos humanos y materiales necesarios, además de realizarse un pequeño análisis de la rentabilidad de la instalación.
- Las conclusiones de este estudio, tanto a nivel técnico del proyecto realizado, como a nivel personal de la experiencia obtenida en este TFG.

Además de estos apartados que dan forma al TFG, también constan cinco anexos que complementan la memoria principal:

- En el Anexo I se pueden visualizar los planos de la vivienda unifamiliar que se abastecerá a través de la instalación fotovoltaica a diseñar.
- En el Anexo II se cita la normativa aplicable a este TFG y se realiza además un breve resumen de las principales novedades que presentan el Real Decreto-ley 15/2018 y el Real Decreto 244/2019 de 5 de abril.
- El Anexo III es el Pliego de Condiciones Técnicas del IDEA, documento que establece las condiciones técnicas que deben tomarse en consideración en la Convocatoria de Ayudas para la promoción de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.
- Finalmente, el Anexo IV es el estudio de sombras realizado. Consta de dos apartados, un estudio de sombras inicial con el primer diseño de la instalación, y un segundo estudio de la instalación corregida para verificar su correcto comportamiento.
- En el Anexo V se han añadido las fichas técnicas de los productos comerciales seleccionados para caracterizar los componentes dimensionados.

Durante el proceso de realización de este TFG se han afrontado grandes retos desde el proceso de información hasta la formación lograda con la realización del proyecto. A pesar de que el diseño del sistema se ha realizado con elementos basados en electrónica ya estudiados en el ámbito de este grado, el proyecto se ha enfocado desde un punto de vista no tratado antes. Tanto el estudio climatológico como los cálculos eléctricos se han afrontado como una novedad con grandes ganas que finalmente han dado como resultado este documento.

## 2. Objetivo

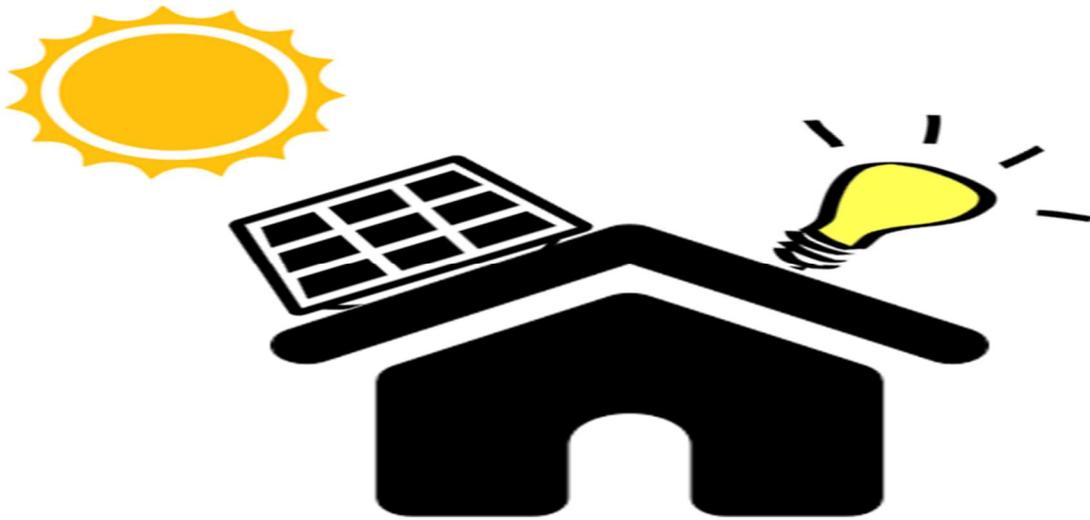
El principal objetivo de este estudio es diseñar y dimensionar una instalación fotovoltaica con integración arquitectónica aislada de la red para una vivienda unifamiliar ubicada en el municipio de Gautegiz-Arteaga perteneciente a la provincia de Bizkaia en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Para ello se deberá seleccionar en el mercado los equipos dimensionados previamente para abastecer eléctricamente la vivienda. En primer lugar, habrá que seleccionar un grupo de placas solares que generen energía suficiente para abastecer las necesidades que se hayan previsto para la vivienda previamente. Después, se seleccionará el conjunto de reguladores que distribuirá toda esta energía según las necesidades en cada momento. Esta energía se repartirá entre el sistema de acumulación a diseñar y el inversor que se escogerá, dependiendo de si la energía generada es mayor o menor que el consumo existente.

### 3. Metodología de diseño

Para alcanzar los objetivos presentados en el anterior apartado, el proceso que se seguirá en este TFG comenzará con un estudio climatológico con el que se establecerán las condiciones de radiación solar y Horas Solar Pico sobre el tejado de la vivienda.

A continuación, se presentan los distintos elementos que formarán la instalación fotovoltaica y se explicará brevemente el funcionamiento de cada uno.



*Ilustración 1. Esquema general del sistema a diseñar*

Una vez presentada la funcionalidad de cada componente, y siguiendo el proceso natural que se puede observar de forma esquemática en la Ilustración 1, se procederá con el dimensionamiento del sistema. Comenzará con una estimación del consumo de la vivienda para posteriormente calcular las placas generadoras necesarias para generar la energía suficiente. Posteriormente se procederá a dimensionar el sistema de acumulación, el regulador y el inversor, además del cableado que une todos estos componentes.

Una vez dimensionado el sistema se seleccionarán los componentes de entre los productos disponibles en el mercado y se presupuestará tanto esta memoria técnica, como la instalación diseñada.

Toda esta instalación y este proceso estarán sujetos a la normativa aplicable expuesta en el Anexo II de Normativa.

## 4. Estudio climatológico

Como se ha presentado en la metodología de este TFG, el primer paso para llevar a cabo el diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica aislada de la red es la realización de un estudio climatológico básico que nos de los datos que serán necesarios de radiación solar y Horas Solares Pico para las condiciones de la vivienda que se presentan a continuación.

### 4.1. Localización

La vivienda objeto de este estudio se encuentra ubicada en el Barrio Mendialdua perteneciente al municipio de Gauteviz-Arteaga en la provincia de Vizcaya, en el territorio de la Comunidad Autónoma del País Vasco:

Coordenadas UTM:	43.357345	2.649417
Latitud y longitud:	43° 21' 26.4" N	2° 38' 57.9" W

En las Ilustraciones 2 y 3 se puede observar la ubicación de la vivienda en un mapa cartográfico, mientras que en la Ilustración 4 se muestra en una ortofoto la ubicación exacta de la vivienda. Finalmente, en la Ilustración 5 se puede observar la entrada de la vivienda a través de una foto obtenida de Google Street View.

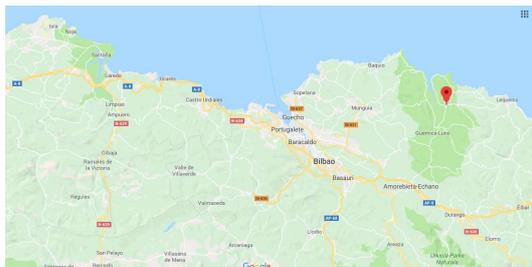


Ilustración 2. Mapa orientativo de la región vizcaína



Ilustración 3. Mapa específico del emplazamiento de la vivienda afectada



Ilustración 4. Ortofoto del emplazamiento de la vivienda afectada



Ilustración 5. Vista de la vivienda afectada

Situada en el norte de la península ibérica, Vizcaya es una de las tres provincias que componen la comunidad autónoma del País Vasco, la cual limita al norte con el mar cantábrico, al este con Guipúzcoa, al sur con Álava y con Burgos y al oeste con Cantabria. Se trata de un territorio montañoso que cuenta con un clima oceánico.

En concreto, el clima de la zona es templado, con mucha nubosidad a lo largo de todo el año. Las precipitaciones son abundantes y frecuentes, especialmente en otoño e invierno, con una media anual de 1200 mm<sup>3</sup>. Las temperaturas son suaves tanto en verano como en invierno (14-15°C de media anual).

## 4.2. Estudio

Los datos de la irradiación solar y las Horas Solares Pico (HSP) que se muestran a continuación, se han obtenido por medio de una licencia gratuito del software de pago PVSYST, que obtiene los datos de tres fuentes: PVGIS, METEONORM y la NASA.

### 4.2.1. PVGIS

Los datos obtenidos de esta fuente son los menores de las tres fuentes. En la Tabla 1 se muestran los datos de radiación solar mensual obtenidos a través de esta fuente, mientras que en la Tabla 2 se encuentran los valores de Horas Solar Pico para esta misma fuente de datos.

Tabla 1. Datos de irradiación solar según fuente PVGIS

MES	Radiación solar mensual sobre plano inclinado [kWh/m <sup>2</sup> ] con azimut=15°										
	0°	10°	20°	27°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ENERO	44,20	54,20	63,10	68,40	70,40	76,00	79,80	81,50	81,20	78,90	74,60
FEBRERO	59,90	70,60	79,70	84,90	86,80	91,90	94,60	94,90	92,90	88,50	82,00
MARZO	99,30	111,90	121,80	127,00	128,70	132,40	132,80	129,90	123,70	114,50	102,50
ABRIL	143,20	153,00	159,90	162,20	162,60	161,30	156,30	147,40	135,20	119,90	102,00
MAYO	154,20	158,80	160,00	158,60	157,60	151,80	142,80	130,80	116,10	99,20	81,00
JUNIO	153,30	155,30	154,10	151,40	149,70	142,30	132,10	119,40	104,50	88,00	70,40
JULIO	159,60	162,50	162,00	159,70	158,20	151,10	140,90	127,90	112,70	95,50	77,40
AGOSTO	143,30	150,00	153,30	153,60	153,20	149,80	142,90	132,90	120,10	104,90	87,80
SEPTIEMBRE	116,50	127,70	135,80	139,60	140,80	142,30	140,40	135,10	126,60	115,20	101,20
OCTUBRE	95,30	112,50	126,90	135,00	138,00	145,60	149,30	149,10	145,00	137,10	125,60
NOVIEMBRE	35,90	42,70	48,50	52,00	53,30	56,80	58,90	59,60	58,90	56,70	53,20
DICIEMBRE	35,10	43,80	51,50	56,20	58,00	63,10	66,60	68,50	68,60	67,00	63,70
ANUAL	103,32	111,92	118,05	120,72	121,44	122,03	119,78	114,75	107,13	97,12	85,12

Tabla 2. Datos de Horas Solar Pico según fuente PVGIS

MES	Radiación solar diaria sobre plano inclinado [kWh/m <sup>2</sup> *día] u Hora Solar Pico con azimut=15°										
	0°	10°	20°	27°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ENERO	1,43	1,75	2,03	2,21	2,27	2,45	2,57	2,63	2,62	2,55	2,41
FEBRERO	2,14	2,52	2,85	3,03	3,10	3,28	3,38	3,39	3,32	3,16	2,93
MARZO	3,20	3,61	3,93	4,10	4,15	4,27	4,28	4,19	3,99	3,69	3,31
ABRIL	4,77	5,11	5,33	5,41	5,42	5,38	5,21	4,91	4,51	4,00	3,40
MAYO	4,97	5,12	5,16	5,12	5,08	4,90	4,61	4,22	3,74	3,20	2,61
JUNIO	5,11	5,18	5,10	5,05	4,99	4,74	4,40	3,98	3,48	2,93	2,35
JULIO	5,15	5,24	5,23	5,15	5,10	4,87	4,54	4,12	3,63	3,08	2,50
AGOSTO	4,62	4,84	4,95	4,96	4,94	4,83	4,61	4,29	3,87	3,38	2,83
SEPTIEMBRE	3,88	4,26	4,53	4,65	4,69	4,74	4,68	4,50	4,22	3,84	3,37
OCTUBRE	3,07	3,63	4,09	4,36	4,45	4,70	4,82	4,81	4,68	4,42	4,05
NOVIEMBRE	1,20	1,42	1,62	1,73	1,78	1,89	1,96	1,99	1,96	1,89	1,77
DICIEMBRE	1,13	1,41	1,66	1,81	1,87	2,04	2,15	2,21	2,21	2,16	2,05
ANUAL	3,39	3,67	3,87	3,97	3,99	4,01	3,93	3,77	3,52	3,19	2,80

#### 4.2.2. NASA

Los datos obtenidos de la NASA son, con diferencia, los de mayor valor, motivo por el cual se han descartado para asegurarse de que el diseño del sistema cubra con seguridad las necesidades de la vivienda. Los valores de radiación solar para esta fuente de datos se muestran en la Tabla 3, mientras que la Tabla 4 tiene los datos de HSP.

Tabla 3. Datos de irradiación solar según fuente NASA

MES	Radiación solar mensual sobre plano inclinado [kWh/m <sup>2</sup> ] con azimut=15°										
	0°	10°	20°	27°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ENERO	50,20	65,20	78,60	86,70	89,90	98,90	105,20	108,70	109,30	106,80	101,50
FEBRERO	67,20	81,10	93,10	100,10	102,70	109,70	113,70	114,80	112,80	107,90	100,10
MARZO	116,90	133,20	146,20	153,10	155,40	160,70	161,80	158,60	151,40	140,30	125,50
ABRIL	144,90	155,50	162,30	164,80	165,30	164,10	159,10	150,10	137,60	122,00	103,70
MAYO	179,80	185,70	187,40	185,90	184,70	177,80	167,10	152,60	134,80	114,40	82,30
JUNIO	189,00	191,80	190,40	187,10	148,90	175,30	162,10	145,50	125,90	104,40	81,20
JULIO	195,60	199,90	199,60	196,90	195,00	185,90	172,70	155,70	135,80	113,10	89,20
AGOSTO	172,10	181,50	186,60	187,50	187,10	183,30	174,90	162,50	146,30	126,80	104,90
SEPTIEMBRE	130,80	145,30	156,30	161,60	163,20	165,90	164,50	158,80	149,00	135,60	118,80
OCTUBRE	88,00	103,80	117,10	124,70	127,40	134,40	137,90	137,70	133,90	126,60	116,00
NOVIEMBRE	52,50	66,40	78,70	86,10	88,90	96,90	102,20	104,90	104,70	101,70	96,00
DICIEMBRE	41,90	55,50	67,90	75,50	78,40	86,90	93,10	96,70	97,70	96,10	91,90
ANUAL	119,08	130,41	138,68	142,50	140,58	144,98	142,86	137,22	128,27	116,31	100,93

Tabla 4. Datos de Horas Solar Pico según fuente NASA

MES	Radiación solar diaria sobre plano inclinado [kWh/m <sup>2</sup> *día] u Hora Solar Pico con azimut=15°										
	0°	10°	20°	27°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ENERO	1,62	2,10	2,53	2,80	2,90	3,19	3,39	3,51	3,52	3,45	3,28
FEBRERO	2,40	2,90	3,33	3,58	3,67	3,92	4,06	4,10	4,03	3,85	3,58
MARZO	3,77	4,30	4,71	4,94	5,01	5,18	5,22	5,12	4,88	4,52	4,05
ABRIL	4,83	5,18	5,41	5,49	5,51	5,47	5,30	5,00	4,59	4,07	3,46
MAYO	5,80	5,99	6,04	6,00	5,96	5,74	5,39	4,92	4,35	3,69	2,98
JUNIO	6,30	6,39	6,35	6,24	6,16	5,84	5,40	4,85	4,20	3,48	2,71
JULIO	6,31	6,45	6,44	6,35	6,29	6,00	5,57	5,02	4,38	3,65	2,88
AGOSTO	5,55	5,86	6,02	6,05	6,04	5,91	5,64	5,24	4,72	4,09	3,39
SEPTIEMBRE	4,36	4,84	5,21	5,39	5,44	5,53	5,48	5,29	4,97	4,52	3,96
OCTUBRE	2,84	3,35	3,78	4,02	4,11	4,34	4,45	4,44	4,32	4,08	3,74
NOVIEMBRE	1,75	2,21	2,62	2,87	2,96	3,23	3,41	3,50	3,49	3,39	3,20
DICIEMBRE	1,35	1,79	2,19	2,43	2,53	2,80	3,00	3,12	3,15	3,10	2,96
ANUAL	3,91	4,28	4,55	4,68	4,72	4,76	4,69	4,51	4,22	3,82	3,35

#### 4.2.3. METEONORM

Estos son los datos de los que finalmente se hará uso en el dimensionamiento ya que se nos presentan unos valores intermedios en comparación con las otras fuentes de datos. Los datos de esta última fuente se muestran en la Tabla 5 (radiación solar) y en la Tabla 6 (HSP).

Tabla 5. Datos de irradiación solar según fuente METEONORM

MES	Radiación solar mensual sobre plano inclinado [kWh/m <sup>2</sup> ] con azimut=15°										
	0°	10°	20°	27°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ENERO	42,40	53,30	63,00	68,80	71,10	77,40	81,80	84,00	84,00	81,90	77,60
FEBRERO	5,80	68,00	75,80	80,20	81,80	85,80	87,90	87,80	85,50	81,30	75,10
MARZO	103,00	114,80	124,00	128,80	130,30	133,50	133,40	130,00	123,60	114,30	102,30
ABRIL	130,90	139,20	144,30	145,90	146,10	144,60	139,80	131,80	121,00	107,50	92,00
MAYO	157,10	161,50	162,40	160,90	159,80	153,80	144,70	132,60	117,80	101,00	82,80
JUNIO	165,90	167,80	166,30	163,30	161,40	153,40	142,30	128,60	112,60	95,00	76,20
JULIO	167,50	170,60	170,10	167,70	166,10	158,60	147,80	134,00	118,00	99,80	80,60
AGOSTO	143,50	150,00	153,10	153,30	152,90	149,30	142,40	132,40	119,70	104,60	87,80
SEPTIEMBRE	115,80	126,70	134,60	138,20	139,30	140,70	138,80	133,50	125,00	113,70	99,90
OCTUBRE	79,90	91,60	101,10	106,40	108,30	112,90	114,70	113,70	110,00	103,50	94,60
NOVIEMBRE	46,50	55,30	62,80	67,30	69,00	73,50	76,20	77,20	76,20	73,40	68,90
DICIEMBRE	36,30	45,50	53,70	58,70	60,60	66,10	69,90	71,90	72,00	70,40	66,90
ANUAL	99,55	112,03	117,60	119,96	120,56	120,80	118,31	113,13	105,45	95,53	83,73

Tabla 6. Datos de Horas Solar Pico según fuente METEONORM

MES	Radiación solar diaria sobre plano inclinado [kWh/m <sup>2</sup> *día] u Hora Solar Pico con azimut=15°										
	0°	10°	20°	27°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ENERO	1,37	1,72	2,03	2,22	2,29	2,50	2,64	2,71	2,71	2,64	2,50
FEBRERO	2,10	2,43	2,71	2,86	2,92	3,07	3,14	3,13	3,05	2,90	2,68
MARZO	3,32	3,70	4,00	4,15	4,20	4,31	4,30	4,19	3,99	3,69	3,30
ABRIL	4,36	4,64	4,81	4,86	4,87	4,82	4,66	4,39	4,09	3,58	3,07
MAYO	5,07	5,21	5,24	5,19	5,16	4,96	4,67	4,28	3,80	3,26	2,67
JUNIO	5,53	5,59	5,54	5,44	5,38	5,11	4,74	4,29	3,75	3,17	2,54
JULIO	5,40	5,50	5,49	5,41	5,36	5,12	4,77	4,32	3,80	3,22	2,60
AGOSTO	4,63	4,84	4,94	4,95	4,93	4,82	4,59	4,27	3,86	3,38	2,83
SEPTIEMBRE	3,86	4,22	4,49	4,61	4,64	4,69	4,63	4,45	4,17	3,79	3,33
OCTUBRE	2,58	2,95	3,26	3,43	3,49	3,64	3,70	3,67	3,55	3,34	3,05
NOVIEMBRE	1,55	1,84	2,09	2,24	2,30	2,45	2,54	2,57	2,54	2,45	2,30
DICIEMBRE	1,17	1,47	1,73	1,89	1,96	2,13	2,25	2,32	2,32	2,27	2,16
ANUAL	3,41	3,68	3,86	3,94	3,96	3,97	3,89	3,72	3,47	3,14	2,75

## 5. Diseño del sistema para autoconsumo

Conocidos los datos climatológicos necesarios, se procede a presentar los componentes que formarán parte de la instalación y que serán objeto de dimensionamiento en posteriores apartados.

Se explicará además el funcionamiento básico de estos componentes y su importancia dentro del sistema ayudándose para ello del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red presente en el Anexo III. Este es un documento elaborado por el Departamento de Energía Solar del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en colaboración con CENSOLAR, cuya finalidad es establecer las condiciones técnicas que deben tomarse en consideración en la Convocatoria de Ayudas para la promoción de instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica.

### 5.1. Esquema general del sistema

En la Ilustración 6, que se muestra a continuación, se presenta un esquema básico de bloques para la esquemización de la instalación fotovoltaica a diseñar.

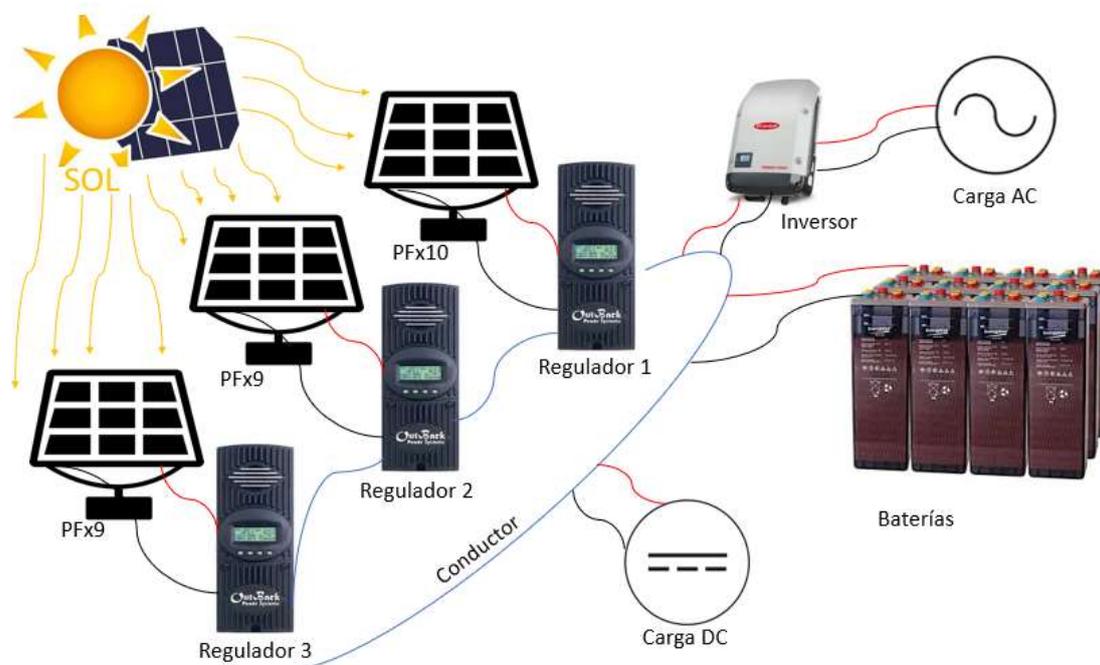


Ilustración 6. Esquema general por bloques del sistema

Como se puede observar, la radiación solar será captada y transformada en energía eléctrica por varios grupos de módulos fotovoltaicos. Esta energía estará gestionada por una serie de reguladores, que serán los que “decidan” si esta energía estará destinada para el consumo de las cargas en continua, si será almacenada en el sistema de acumulación, o si pasará por el inversor para cubrir el consumo de las cargas de corriente alterna.

## 5.2. Funcionamiento de los componentes

A continuación, se explica, de forma breve, el funcionamiento de los distintos componentes que forman la instalación diseñada.

### 5.2.1. Placas fotovoltaicas

Atendiendo a las definiciones del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red del IDAE mostradas en el Anexo III, el generador fotovoltaico de la instalación es la asociación en paralelo de distintas ramas fotovoltaicas, que son subconjuntos de módulos fotovoltaicos interconectados, en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión nominal del generador. A su vez, los módulos fotovoltaicos son definidos como conjuntos de células solares interconectadas entre sí y encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie. Finalmente, se define la célula solar o fotovoltaica, que se trata del dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica.

Estas células tienen su origen en 1839, descubiertas por Alexandre-Edmond Becquerel, un físico de origen francés que se dedicó al estudio del espectro solar, el magnetismo, la electricidad y la óptica, entre otras cosas.

El principal componente de las células fotovoltaicas son los semiconductores. Estos semiconductores normalmente están hechos en base de silicio debido a sus ventajosas propiedades frente a otros materiales y a que es un elemento muy abundante en la corteza terrestre. Para que el silicio deje de ser un elemento eléctricamente estable y se convierta en semiconductor se ha de dopar con otro elemento de forma que se genere una inestabilidad eléctrica. Con este fin, los dopantes más comunes son el fósforo o el boro, que provocan que la última capa esté siempre buscando llenarse.

El funcionamiento de las células solares es relativamente sencillo, estas absorben la luz solar incidente y una porción de ella es absorbida por el material semiconductor. Cada fotón genera en el semiconductor lo que se conoce como par electrón-hueco. Dadas las propiedades del semiconductor cada uno se dirige a una parte de la célula, la cual, cuando es conectada a través del circuito externo, genera la electricidad que observamos al encender, por ejemplo, una bombilla.

### 5.2.2. Regulador

Atendiendo una vez más al Anexo III de este TFG, el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, el regulador de carga es el dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas. El regulador podrá no incluir alguna de estas funciones si existe otro componente del sistema encargado de realizarlas.

El regulador de carga solar se instala entre el campo fotovoltaico y el campo de baterías y básicamente se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre ambos elementos. El control de flujo de energía se realiza mediante el control de los parámetros de Intensidad (I) y Voltaje (V) al que se inyecta en la batería, este flujo depende del algoritmo de carga de las baterías y de la energía generada por el campo fotovoltaico, determinando las fases o estados de carga.

El regulador de carga solar protege la batería contra sobrecargas, llenándola según le resulte más conveniente a la batería en cada momento.

Existen tres estados de carga posibles:

- Fase Bulk: En esta fase la batería está descargada y toda la corriente producida por los paneles solares fotovoltaicos es inyectada en las baterías, aumentando la tensión en el campo de las baterías a medida que estas se van llenando.
- Fase absorción: Cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción (en las baterías de plomo-ácido abiertas 14,4 V y en las baterías AGM y en las baterías GEL 14,1 V) el regulador de carga solar se encarga básicamente de mantener la tensión ligeramente por debajo de dicho valor y reduce la corriente paulatinamente hasta que esté llena totalmente la batería.

- Fase de Flotación: Tras la fase de absorción el regulador de carga solar alcanza la fase de flotación (generalmente 13,5 V), además en esta fase la corriente inyectada se reduce hasta que la batería se llena por completo.

Hay que tener en cuenta que toda la energía que se genera mayor a la energía que es posible inyectar en la batería se pierde por efecto Joule, en forma de calor en el regulador, por lo que es importante escoger el regulador de carga solar apropiado para tu instalación fotovoltaica.

### 5.2.3. Inversor

Según la definición de inversor presente en el Anexo III del Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, se trata de un convertidor de corriente continua en corriente alterna.

Un inversor es un dispositivo electrónico capaz de transformar una corriente continua (DC) en una corriente alterna (AC) a un voltaje y frecuencia determinados. Por ejemplo, si tenemos que alimentar un electrodoméstico que funciona en corriente alterna 230 V (frecuencia 50 Hz) pero no tenemos a disposición la corriente alterna de red, gracias al inversor, igualmente podemos alimentarlo, utilizando una fuente de corriente continua, como una batería de 12 V (DC). Por lo tanto, es indispensable usarlo para alimentar a través de corriente continua, los dispositivos eléctricos que funcionan en corriente alterna. Los inversores se utilizan en sistemas fotovoltaicos aislados (autónomos) para alimentar dispositivos eléctricos y también se utilizan en sistemas fotovoltaicos conectados a la red para introducir la corriente producida por la planta directamente en la red eléctrica de distribución.

Los inversores más comunes utilizados para alimentar cargas de corriente alterna son de tres tipos: inversores de onda cuadrada, inversores de onda sinusoidal modificada e inversor de onda sinusoidal pura.

### 5.2.4. Sistema de acumulación

En el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE se define el acumulador como una asociación eléctrica de baterías, y una batería como una fuente de tensión continua formada por un conjunto de vasos electroquímicos interconectados. Además, se define

un vaso como un elemento o celda electroquímica básica que forma parte de la batería, y cuya tensión nominal es aproximadamente 2 V.

La capacidad de las baterías es la cantidad de energía que debe ser capaz de almacenar la batería para asegurar un correcto funcionamiento del sistema. Se pueden definir dos tipos de capacidades: habrá una capacidad de la batería diaria (relacionada con el ciclo diario y la profundidad de descarga máxima diaria) y una capacidad de la batería estacional (relacionada con el ciclo estacional y la profundidad de descarga máxima estacional).

#### 5.2.5. Cableado

El dimensionado del cableado constituye una de las tareas en las que se deberá prestar especial atención, ya que siempre que exista consumo habrá pérdidas debido a las caídas de tensión en los cables.

Estas pérdidas óhmicas deben cumplir la más restrictiva de las dos condiciones siguientes:

- a. Verificar las normas electrotécnicas de baja tensión.
- b. La caída de tensión debe ser menor que una cantidad prefijada.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones aisladas de red, los conductores de la parte CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior, incluyendo cualquier terminal intermedio, a los valores especificados a continuación:

- Generador fotovoltaico y regulador inversor: 3%
- Regulador y batería: 1%
- Inversor y batería: 1%
- Regulador e inversor: 1%
- Inversor/regulador y cargas: 3%

Además de seguir el Pliego de Condiciones Técnicas, el cableado de la instalación debe cumplir con lo expuesto en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, además de estar sujeto también a la norma UNE-EN 50618:2015, normativa aplicable que se expone en el Anexo II.

## 6. Dimensionamiento del sistema

Una vez presentados los componentes que forman la instalación, se procede a dimensionar cada uno de ellos.

### 6.1. Estimación del consumo

Para dimensionar los componentes lo primero que necesitamos es conocer las necesidades energéticas de la vivienda, para lo que se presentan a continuación las características de la misma.

#### 6.1.1. Distribución de la vivienda

La vivienda que se presta a gestionar este estudio es una vivienda unifamiliar dividida en tres pisos según se indica a continuación en la Tabla 7:

Tabla 7. Distribución de la vivienda

DISTRIBUCIÓN VIVIENDA UNIFAMILIAR		SUPERFICIE ÚTIL (m <sup>2</sup> )		SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )
<b>PLANTA SÓTANO</b>	ESCALERAS Y DISTRIBUIDOR	10,87	136,05	151,51
	GARAJE Y APEROS	78,25		
	HUECO DEL ASCENSOR	1,56		
	TXOKO	42,29		
	WC	3,08		
<b>PLANTA BAJA VIVIENDA</b>	ETARTE	2,1	127,4	147,66
	HALL	7,68		
	PASILLO	8,67		
	ESCALERAS	4,87		
	ASCENSOR	1,56		
	COCINA	16,33		
	SALÓN	37,38		
	DORMITORIO I	16,8		
	BAÑO I	4,8		
	DISTRIBUIDOR	3		
	DORMITORIO II	11,22		
	DORMITORIO III	12,54		
	BAÑO II	4,4		
	PORCHE	5,2		
<b>PLANTA PRIMERA O BAJO CUBIERTA</b>	BAJO CUBIERTA	83,78	86,88	100,88
	BALCÓN	3,1		
		<b>TOTAL</b>	350,33	400,05

### 6.1.2. Consumos de la vivienda

En relación a los electrodomésticos y demás aparatos eléctricos que se encuentran en esta vivienda, se destaca una particularidad sobre otras: la vivienda tiene dos cocinas, pero nunca funcionan las dos a la vez, con lo que a continuación se indican todos los aparatos existentes, pero esta particularidad queda reflejada haciendo cero el tiempo de uso de una de las dos cocinas.

Para la planta sótano se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones para estimar el consumo de la Tabla 8. Esta planta de la vivienda tiene un uso principal como garaje, con lo que los consumos a tener en cuenta serán los de la puerta automática y las luminarias existentes. Existe, además, una cocina utilizada de forma ocasional en celebraciones concentradas sobre todo en la época de verano, sin embargo, nunca consumirá a la vez que la cocina principal, con lo que, como se indicaba anteriormente, en la estimación se valora a 0, mientras que se utilizará la cocina principal de la vivienda como consumidora.

Los consumos de la planta bajo cubierta de la Tabla 9 se han estimado conociendo que esta planta se limita a un uso como trastero, por lo que no se considera ningún consumo a parte de las luminarias.

Para la estimación de la Tabla 10 de la planta vivienda, sabemos que se trata de una planta con una distribución de vivienda habitual, con tres habitaciones, cocina, dos baños y salón-comedor. Consta un hueco en el proyecto de la vivienda para un ascensor que finalmente no se ejecutó. Se tienen aquí en cuenta, además, las luces exteriores de la casa.

De las tablas que se presentan posteriormente se obtienen los siguientes datos:

- Potencia DC instalada en la vivienda: 440 W
- Potencia AC instalada en la vivienda: 8.650 W
- Consumo de los aparatos DC: 1.320 Wh/día
- Consumo de los aparatos AC: 12.275 Wh/día

Tabla 8. Consumo de la planta sótano

PLANTA SÓTANO	HABITACIÓN	ELECTRODOMÉSTICO	TIPO CONSUMO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	TIEMPO DE USO (h)	CONSUMO (Wh)
	PLANTA SÓTANO	ESCALERA Y DISTRIBUIDOR	BOMBILLA LED	DC	1	10	1
GARAJE		BARRA LED	DC	2	20	1	40
		PUERTA AUTOMÁTICA	AC	1	200	0,05	10
TXOKO		BOMBILLA LED	DC	2	10	1	20
		BARRA LED	DC	1	20	1	20
		HORNO	AC	1	3.000	0	0
		INDUCCIÓN	AC	1	2.500	0	0
WC		BOMBILLA LED	DC	1	10	1	10
A		BARRA LED	DC	1	20	0	0
				TOTAL DC	120	7	100
				TOTAL AC	5.700	0,05	10

Tabla 9. Consumo de la planta bajo cubierta

BAJO CUBIERTA	HABITACIÓN	ELECTRODOMÉSTICO	TIPO CONSUMO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	TIEMPO DE USO (h)	CONSUMO (Wh)
	BAJO CUBIERTA	BAJO CUBIERTA	BOMBILLA LED	DC	4	10	4
TOTAL DC					40	16	160
TOTAL AC					0	0	0

Tabla 10. Consumo de la planta vivienda

HABITACIÓN		ELECTRODOMÉSTICO	TIPO CONSUMO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	TIEMPO DE USO (h)	CONSUMO (Wh)
PLANTA VIVIENDA	PORCHE	BOMBILLA LED	DC	1	10	4	40
	ETARTE	BOMBILLA LED	DC	1	10	4	40
	HALL	BOMBILLA LED	DC	2	10	4	80
	PASILLO	BOMBILLA LED	DC	2	10	4	80
	ESCALERAS	BOMBILLA LED	DC	4	10	4	160
	ASCENSOR	SIN EJECUTAR	0	0	0	0	0
	COCINA	BARRA LED	DC	2	20	4	160
		NEVERA	AC	1	200	24	4.800
		LAVAVAJILLAS	AC	1	700	1	700
		LAVADORA	AC	1	450	1	450
		HORNO	AC	1	3.000	0,5	1.500
		INDUCCIÓN	AC	1	2.500	1	2.500
		EXTRACTOR	AC	1	100	0,15	15
		MICROONDAS	AC	1	800	0,25	200
	SALÓN-COMEDOR	BOMBILLA LED	DC	4	10	4	160
		TV	AC	1	100	4	400
	DORMITORIO I	BOMBILLA LED	DC	3	10	4	120
		PC	AC	1	250	4	1.000
	DORMITORIO II	BOMBILLA LED	DC	2	10	4	80
		TV	AC	1	100	2	200
		PC	AC	1	250	2	500
	DORMITORIO III	BOMBILLA LED	DC	2	10	1	20
	BAÑO I	BOMBILLA LED	DC	1	10	4	40
BAÑO II	BOMBILLA LED	DC	2	10	4	80	
				TOTAL DC	280	98	1.060
				TOTAL AC	8.450	39,9	12.265

Finalmente, se presenta en la Tabla 11 un resumen de los consumos estimados en la vivienda objeto de este estudio, mostrando al final de la misma la potencia y el consumo totales para las cargas AC y DC.

Tabla 11. Consumos totales estimados

Planta	Tipo Consumo	Potencia (W)	Consumo (Wh)
PLANTA SÓTANO	DC	120	100
	AC	5.700	10
PLANTA VIVIENDA	DC	280	1.060
	AC	8.450	12.265
BAJO CUBIERTA	DC	40	160
	AC	0	0
TOTAL	DC	440	1.320
	AC	14.150	12.275

### 6.1.3. Cálculo del consumo

Habiendo sido presentados todos los aparatos, potencias y tiempos de uso, la expresión para calcular el consumo medio diario ( $L_{md}$ ) distinguiendo entre los aparatos de corriente alterna y continua será:

$$L_{md,AC} = \sum P_{(AC)i} * t_{di} \quad (1)$$

$$L_{md,DC} = \sum P_{(DC)i} * t_{di} \quad (2)$$

Donde:

$L_{md,AC}$ : Energía consumida en AC (Wh/día)

$L_{md,DC}$ : Energía consumida en DC (Wh/día)

$P_{(AC)i}$ : Potencia nominal (W) (AC y DC)

$t_{di}$ : Tiempo diario de uso (h/día)

Aplicando las expresiones anteriores, los resultados son los siguientes:

$$L_{md,AC} = 12.275 W ; L_{md,DC} = 1.320 W \quad (3)$$

El consumo medio diario, teniendo en cuenta los rendimientos de las baterías y del inversor, se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{INV}}}{\eta_{BAT} * \eta_{CON}} \quad (4)$$

Donde:

$L_{md}$ : Consumo medio diario (Wh/día)

$\eta_{BAT}$ : Rendimiento de la batería

$\eta_{INV}$ : Rendimiento del inversor

$\eta_{CON}$ : Rendimiento de los conductores

Una vez aplicada la expresión anterior y contando con los rendimientos arriba expuestos, el consumo medio diario será el siguiente:

$$L_{md} = 15.746,2 W \quad (5)$$

## 6.2. Dimensionado del generador fotovoltaico

Para el dimensionamiento del generador fotovoltaico se hará uso del método del mes crítico, según el cual se hará uso de los datos del peor mes para el diseño, de forma que, si este mes cumple las condiciones, el resto de meses se generará más energía que la consumida. Sin embargo, la inclinación de las placas solares no vendrá determinada por este método ni por ningún otro, sino que se utilizará la inclinación propia del tejado de la vivienda objeto de estudio. Este diseño busca una mayor integración arquitectónica que produzca un menor impacto visual en la vivienda y que además nos permita ahorrar algunos costes en la estructura de fijación de las placas al tejado. Tampoco se contempla la posibilidad de ubicar las placas directamente en el suelo (con una estructura que las oriente e incline de la manera más óptima) por considerarse sin integración alguna con la vivienda y por reducir considerablemente el espacio exterior disponible para el quehacer diario de los residentes.

Para el dimensionamiento de los generadores fotovoltaicos se han preseleccionado los Maxeon 3 de la empresa *SunPower*. Estas placas tienen una potencia pico de 400 W por módulo y sus dimensiones son de 1.690 mm x 1.046 mm x 40 mm.

Como se ha dicho, con afán de integrar arquitectónicamente las placas solares en el tejado de la vivienda, se hará uso de la inclinación propia del tejado, de forma que la

inclinación en cualquiera de las superficies del tejado es de 27°, habiendo tres grupos de superficies orientadas según azimut +15°, +103° y -77°.

Empezando por la superficie orientada con azimut +103°, teniendo en cuenta el tamaño de la superficie disponible y el tamaño de las placas fotovoltaicas consultadas, se emplazan en esta superficie el número máximo de placas posibles, que es 7.

A partir del azimut y el grado de inclinación se obtienen los datos de la radiación solar y las HSP mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. Datos de radiación solar y HSP para inclinación de 27° y azimut +103°

MES	Gm (kWh/m2*mes)	Gd (kWh/m2)	Lmd/Gd
			27°
ENERO	38,50	1,24	12.698,55
FEBRERO	53,30	1,90	8.287,47
MARZO	90,10	2,91	5.411,06
ABRIL	133,30	4,44	3.546,44
MAYO	145,80	4,70	3.350,26
JUNIO	145,90	4,86	3.239,96
JULIO	151,40	4,88	3.226,68
AGOSTO	134,70	4,34	3.628,16
SEPTIEMBRE	107,50	3,58	4.398,38
OCTUBRE	84,70	2,73	5.767,84
NOVIEMBRE	32,00	1,07	14.716,07
DICIEMBRE	30,40	0,98	16.067,55
ANUAL	95,63	3,14	5.014,71

Se establecen los datos del PR y la potencia pico de cada módulo.

$$PR = 0,9 \quad (6)$$

$$P(\text{Potencia pico del módulo en condiciones STC en Watios}) = 400 W \quad (7)$$

A partir de los datos anteriores podemos obtener la energía generada por estas 7 placas:

$$E_{+103^\circ} = P_{\text{módulo}} * PR * HSP_{+103^\circ} * N^\circ \text{ de módulos} \quad (8)$$

$$E_{+103^\circ} = 400 * 0,9 * 0,98 * 7 = 2.469,60 W \quad (9)$$

Para la superficie orientada con azimut -77°, se sigue el mismo proceso que con la anterior superficie. Siendo una superficie idéntica, se vuelven a valorar 7 placas con una inclinación de 27°, siendo los datos de radiación solar y HSP los mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13. Datos de radiación solar y HSP para inclinación de 27° y azimut -77°

MES	Gm (kWh/m <sup>2</sup> *mes)	Gd (kWh/m <sup>2</sup> )	Lmd/Gd
			27°
ENERO	49,00	1,58	9.965,95
FEBRERO	64,90	2,32	6.787,15
MARZO	104,40	3,37	4.672,46
ABRIL	144,70	4,82	3.266,85
MAYO	151,90	4,90	3.213,51
JUNIO	149,10	4,97	3.168,25
JULIO	155,70	5,02	3.136,70
AGOSTO	142,80	4,61	3.415,66
SEPTIEMBRE	119,70	3,99	3.946,42
OCTUBRE	103,40	3,34	4.714,43
NOVIEMBRE	39,10	1,30	12.112,46
DICIEMBRE	39,40	1,27	12.398,58
ANUAL	105,34	3,46	4.550,92

Se establecen los datos del PR y la potencia pico de cada módulo.

$$PR = 0,9 \quad (10)$$

P (Potencia pico del módulo en condiciones STC en Watios) = 400 W

A partir de los datos anteriores podemos obtener la energía generada por estas 7 placas:

$$E_{-77^\circ} = P_{\text{módulo}} * PR * HSP_{-77^\circ} * N^\circ \text{ de módulos} \quad (11)$$

$$E_{-77^\circ} = 400 * 0,9 * 1,27 * 7 = 3.200,40 \text{ W} \quad (12)$$

A continuación, se dimensionan cuantas placas sean necesarias para dar el resto del suministro haciendo uso de las superficies orientadas con azimut +15°. Para ello se hace uso de los datos del estudio climatológico que se resumen en la Tabla 14.

Tabla 14. Datos de radiación solar y HSP para inclinación de 27° y azimut +15°

MES	Gm (kWh/m <sup>2</sup> *mes)	Gd (kWh/m <sup>2</sup> )	Lmd/Gd
			27°
ENERO	68,80	2,22	7.092,88
FEBRERO	80,20	2,86	5.505,66
MARZO	128,80	4,15	3.794,26
ABRIL	145,90	4,86	3.239,96
MAYO	160,90	5,19	3.033,95
JUNIO	163,30	5,44	2.894,52
JULIO	167,70	5,41	2.910,57
AGOSTO	153,30	4,95	3.181,05
SEPTIEMBRE	138,20	4,61	3.415,66
OCTUBRE	106,40	3,43	4.590,73
NOVIEMBRE	67,30	2,24	7.029,55
DICIEMBRE	58,70	1,89	8.331,32
ANUAL	119,96	3,94	3.999,03

El consumo restante teniendo en cuenta la energía producida por las placas anteriormente calculadas es:

$$L_{Restante} = L_{md} - E_{+103^\circ} - E_{-77^\circ} = 15.746,1988 - 2.469,60 - 3.200,40 \quad (13)$$

$$L_{Restante} = 9.345,40 \text{ Wh} \quad (14)$$

Se calcula ahora el número de placas con esta orientación e inclinación necesarias para cubrir este consumo:

$$N^\circ \text{ de módulos} = \frac{L_{Restante}}{P_{módulo} * PR * HSP_{+15^\circ}} = \frac{9.345,40}{400 * 0,9 * 1,89} = 13,74 \text{ módulos} \quad (15)$$

Lo que por redondeo al entero superior resulta en un total de 14 módulos.

Una vez se ha obtenido el total de módulos necesarios para cubrir el consumo de la vivienda, se procede a calcular el número de módulos a conectar en serie y en paralelo:

Tensión nominal de la batería = Tensión nominal de la instalación (V) = 48 V

Tensión nominal del módulo en el punto de máxima potencia en condiciones STC = 65.9 V

Teniendo en cuenta estos dos datos, el número de módulos a conectar en serie será de:

$$\frac{48}{65,9} = 0,73 \quad (16)$$

Lo que, por redondeo al entero superior, indica que habrá 14 ramas conectadas en paralelo, cada una de las cuales estará formada por un único módulo conectado en serie.

### 6.3. Dimensionado del sistema de acumulación

A la hora de dimensionar el sistema de acumulación será necesario definir previamente dos parámetros:

- Profundidad de Descarga Máxima:

$$P_{Dmax,e} = 0,15 \quad (17)$$

- Días de Autonomía:

$$D_{Aut} = 4 \quad (18)$$

Con estos parámetros definidos se procede a dimensionar el sistema de acumulación según la siguiente expresión:

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{Dmax,d} * F_{CT}} \quad ; \quad C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{BAT}} \quad (19)$$

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{ma} * N}{P_{Dmax,e} * F_{CT}} \quad ; \quad C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{BAT}} \quad (20)$$

Siendo,

$C_{nd}$ : capacidad nominal diaria de la batería (Wh o Ah).

$C_{ne}$ : capacidad nominal estacional de la batería (Wh o Ah).

$L_{md}$ : Consumo diario medio (Wh/día).

$P_{Dmax,d}$ : Profundidad de descarga máxima diaria de la batería (tanto por uno).

$P_{Dmax,e}$ : Profundidad de descarga máxima estacional de la batería (tanto por uno).

$V_{BAT}$ : Tensión nominal de la batería (V).

$F_{CT}$ : Factor de corrección por temperatura.

Cuyo resultado es:

$$C_{nd}(Wh) = \frac{15.746,20}{0,15*1} = 104.974,66 Wh \quad (21)$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{48} = 2.186,97 Ah \quad (22)$$

$$C_{ne}(Wh) = \frac{15.746,20*4}{0,7*1} = 89.978,28 Wh \quad (23)$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{48} = 1.874,55 Ah \quad (24)$$

Una vez conocidas ambas capacidades, la escogida para el dimensionamiento es la mayor de ellas:

$$C_{nd}(Wh) = 104.974,66 Wh ; C_{nd}(Ah) = 2.186,97 Ah \quad (25)$$

#### 6.4. Dimensionado del regulador

A la hora de dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se habrá de calcular la corriente que produce el generador, la corriente que consume la carga, y la máxima de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador en funcionamiento.

La corriente de corte a la que debe actuar el regulador será fijada en el propio dispositivo, pero ha de soportar la máxima posible que la instalación pueda producir. La máxima intensidad de corriente que puede producir el generador es la corriente de cortocircuito del generador:

$$I_{entrada} = I_{GFV,SC} = 1,25 * (I_{MOD,SC} * N)_p = 1,25 * (2,56 * 14) = 134,4 A \quad (26)$$

Siendo,

$I_{GFV,SC}$ : Corriente de cortocircuito del generador (A).

$I_{MOD,SC}$ : Corriente de cortocircuito del módulo (A).

$N_p$ : Número de ramas en paralelo del generador.

Se incluye un factor de seguridad de 1,25 para considerar los aumentos de irradiancia que a veces se producen en los días nublados durante pequeños intervalos de tiempo.

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta la corriente máxima de la carga (también se denomina corriente de salida):

$$I_{salida} = I_C = 1,25 * \frac{(P_{DC} + P_{AC}) / \eta_{INV}}{V_{BAT}} = 1,25 * \frac{(P_{DC} + P_{AC}) / 0,9}{48} = 260,56 A \quad (27)$$

Donde,

$I_C$ : Corriente que consume la carga (A).

$P_{DC}$ : Potencia de las cargas en DC (W).

$P_{AC}$ : Potencia de las cargas en AC (W).

$V_{BAT}$ : Tensión nominal de la batería (V).

$\eta_{INV}$ : Rendimiento del inversor.

Para la elección del regulador se hará uso de la mayor de estas dos corrientes:

$$I_R = \max(I_{GFV,SC}, I_C) = 260,56 A \quad (28)$$

Como esta corriente es demasiado grande, se divide la instalación para funcionar en tres grupos con un regulador cada uno, funcionando estos en paralelo. La instalación se dividirá en dos grupos de 7 y uno de 14, tal y como se han calculado en el apartado de dimensionamiento del generador. Se considera que, al funcionar de forma sincronizada en paralelo, la corriente de salida se reparte de forma equitativa en cada regulador:

$$I_{Entrada7} = 57,58 A ; I_{Salida7} = 87,25 A \quad (29)$$

$$I_{Entrada14} = 115,15 A ; I_{Salida14} = 87,25 A \quad (30)$$

Para que no haya problemas en la comunicación entre reguladores se elegirán tres reguladores iguales, con lo que el regulador de carga seleccionado tendrá que cumplir con:

$$I_R = \max(I_{GFV,SC}, I_C) = 115,15 A \quad (31)$$

## 6.5. Dimensionado del inversor

En primer lugar, definimos las características de funcionamiento del inversor:

- Tensión Nominal de Entrada (V) = 48 V
- Tensión Nominal de Salida (V) = 230 V
- Frecuencia de operación (Hz) = 50 Hz
- Rendimiento (%) = 90%

Ahora se calcula la potencia del inversor con la siguiente expresión:

$$P_{inv} \approx 1,2 * P_{AC} = 1,2 * 8.650 = 10.380 W \quad (32)$$

## 6.6. Dimensionado del cableado

La sección de los conductores se calcula según la siguiente expresión:

$$S(mm^2) = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho}{AV \cdot V} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 261,75 \cdot 0,01724138}{0,9 \cdot 48} = 20,89 \text{ mm}^2 \quad (33)$$

Donde,

$V$ : Tensión nominal del sistema (V).

$I$ : Corriente que circula por los conductores (A).

$AV$ : Caída de tensión en los conductores (%).

$\rho$ : Resistividad del conductor ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )

$L$ : Longitud de los conductores (m).

$S$ : Sección de los conductores ( $mm^2$ )

Tabla 15. Valores de resistividad para el cobre y el aluminio

Resistividad del cobre ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )	0,01724138
Resistividad del aluminio ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )	0,02857143

Para la estimación de la longitud de conductor a utilizar se ha considerado la altura de la vivienda, ya que los módulos fotovoltaicos emplazados en el tejado deben conectarse con el resto de componentes que se situarán en el sótano de la vivienda.

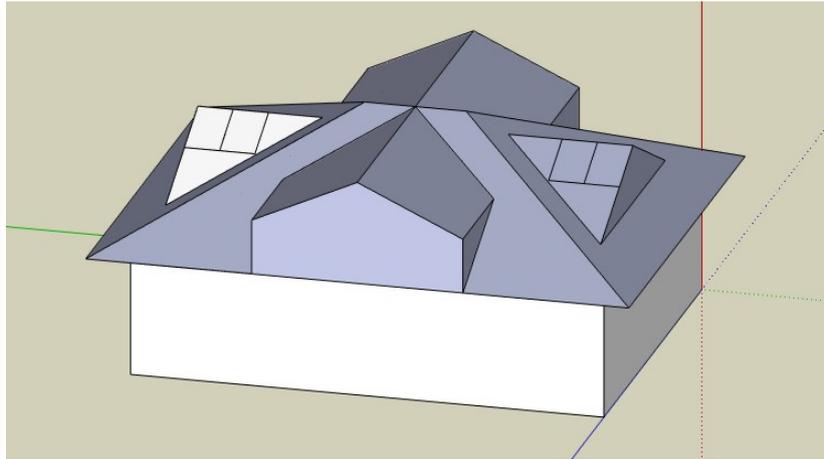
## 6.7. Diseño y colocación de los sistemas

Una vez dimensionada la instalación fotovoltaica, se intenta mostrar la complejidad de forma del tejado de la vivienda y el proceso de emplazamiento de las placas, de forma que se pueda entender el resultado final de este proceso de diseño e integración arquitectónica.

En este proceso se ha hecho uso del software de Google, "Sketchup". Este software nos ha permitido hacer un modelado básico en 3D de la vivienda, con las formas e inclinaciones del tejado. En este modelo se han dibujado las placas para comprobar que las placas diseñadas caben en el tejado. Como último paso, este programa nos da la

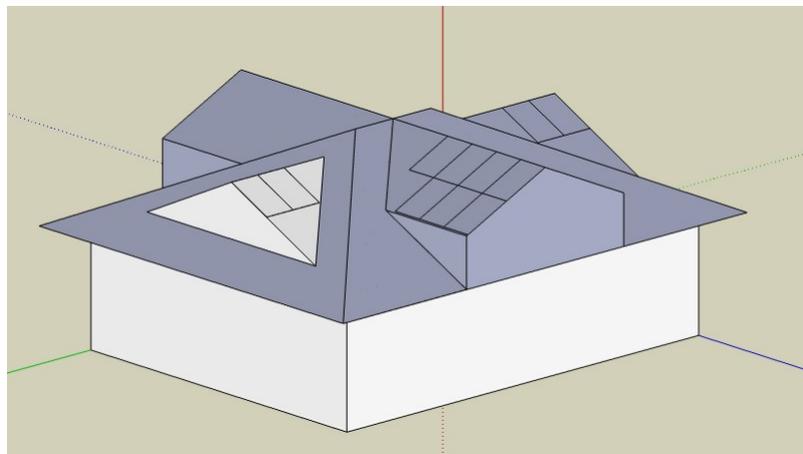
posibilidad de realizar un estudio de sombras según la hora y la fecha, viendo si las placas ubicadas en el tejado se ven o no afectadas.

En lo que al proceso de ubicación de las placas se refiere, se empieza ubicando cuatro módulos en dos pequeñas superficies que, eso sí, cumplen con las mejores condiciones de orientación del tejado (azimut  $+15^\circ$ ). Se fijan de dos en dos de forma que se pueden observar en la Ilustración 7.

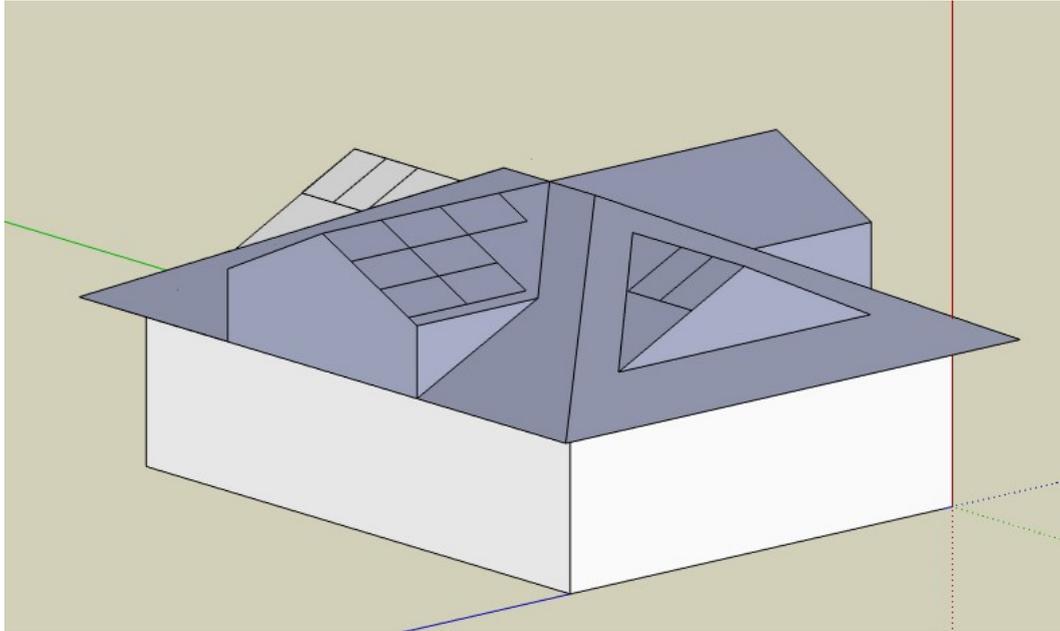


*Ilustración 7. Ubicación de los cuatro primeros módulos*

A continuación, se decide la orientación de los módulos en las superficies peor orientadas (azimut  $+103^\circ$  y  $-77^\circ$ ), de forma que siempre ubicamos siete módulos, pero que pueden ir orientados dos formas distintas. En la Ilustración 8 se puede observar la primera de esas formas, ubicando las placas verticalmente respecto a la caída del tejado, mientras que en la Ilustración 9 se observa como los módulos se ubican horizontalmente respecto a la inclinación.

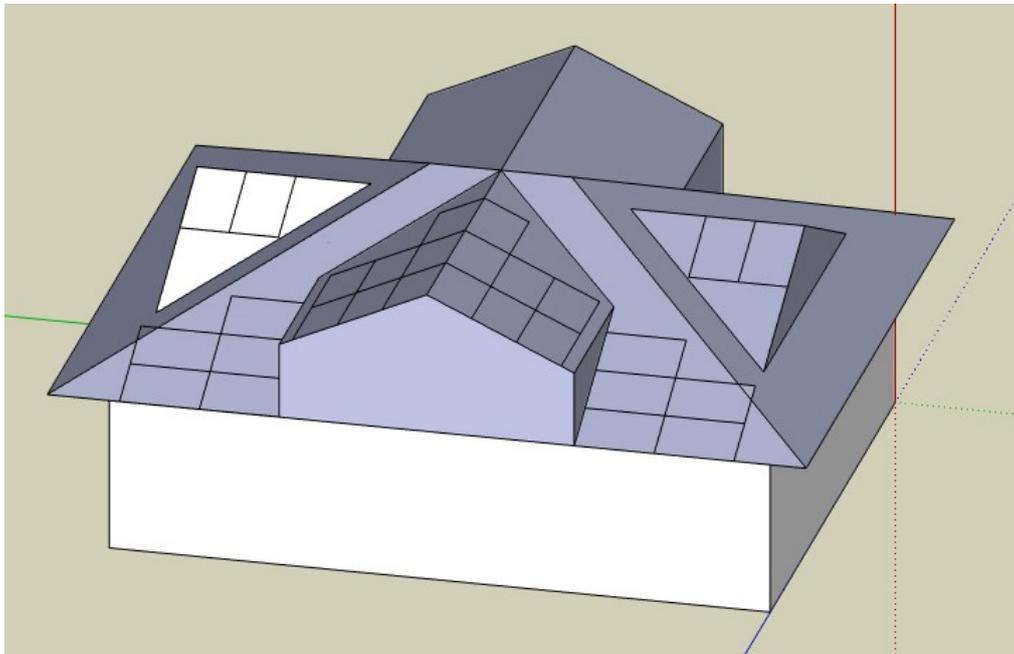


*Ilustración 8. Primera posibilidad de colocación de los módulos con peor orientación*

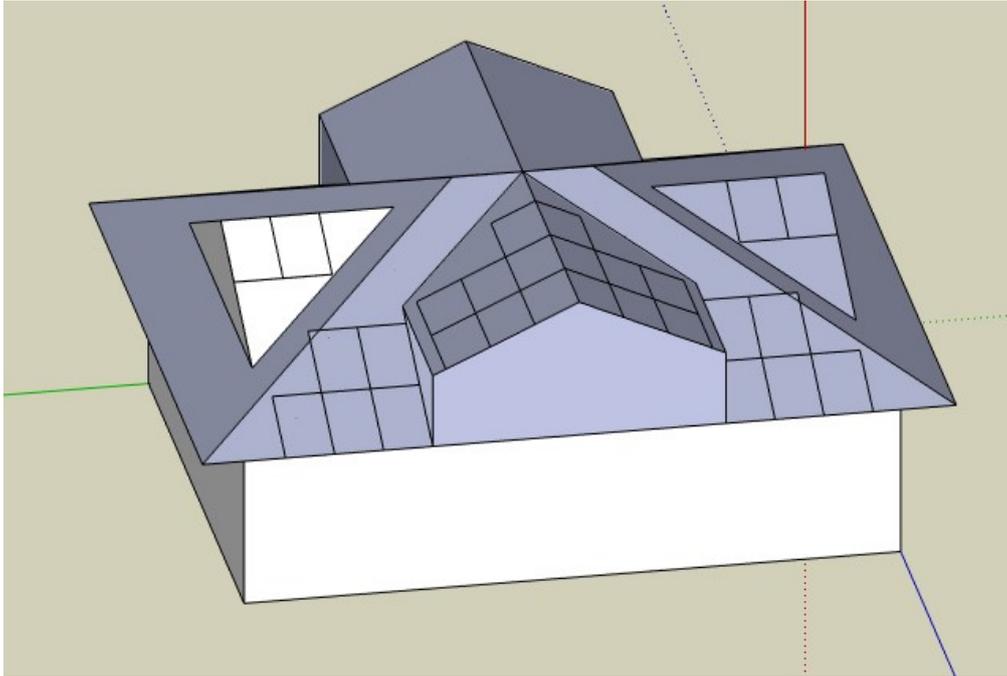


*Ilustración 9. Segunda posibilidad para los módulos con peor orientación*

Por último, quedan por situar los últimos diez paneles divididos en dos grupos de cinco que se colocarán en dos superficies simétricas. La primera posibilidad que se considera es tratar de colocarlas en grupo, de forma que sobresalen ligeramente del tejado. Esto se realizará colocando los paneles bien horizontalmente (Ilustración 10) o verticalmente (Ilustración 11).



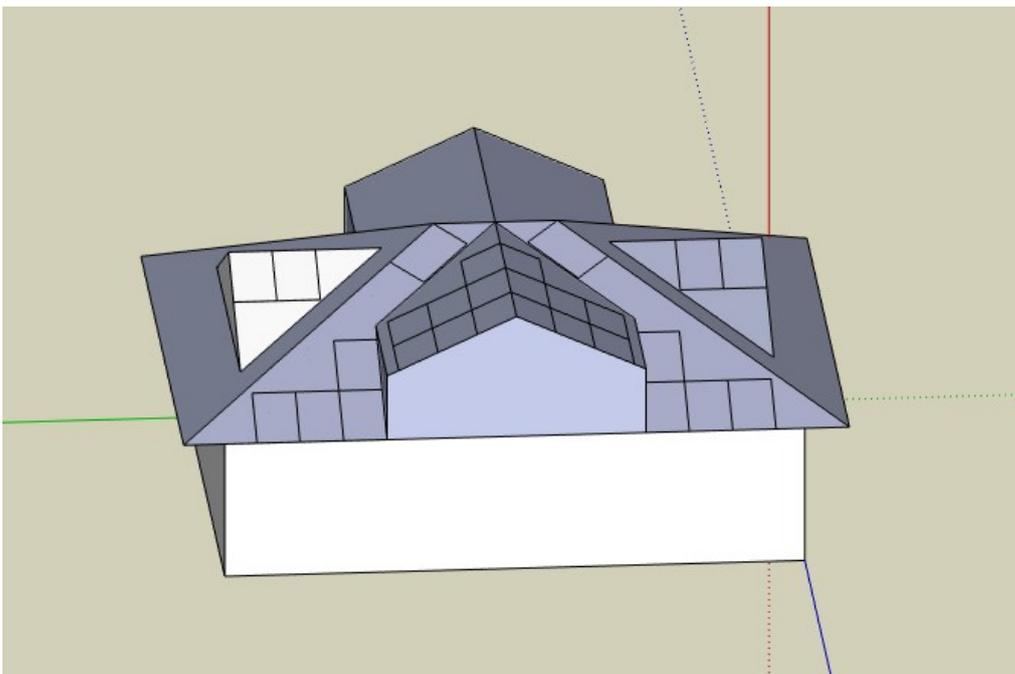
*Ilustración 10. Primera posibilidad de colocación de las últimas placas solares*



*Ilustración 11. Segunda posibilidad de colocación de las últimas placas solares*

Esta posibilidad se descarta debido a que no cumple con nuestros criterios de integración arquitectónica y a la problemática que presenta ante las corrientes de aire, muy presentes en el citado clima oceánico que está presente en la zona.

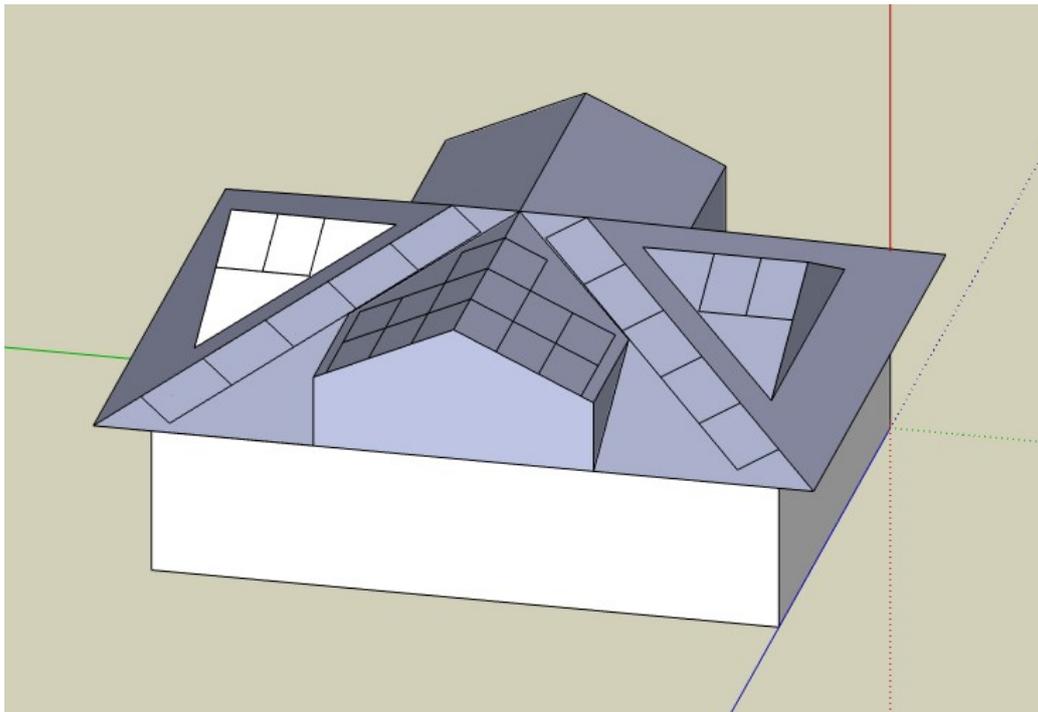
Descartada la anterior posibilidad, se procede a emplazar los módulos que sobresalen aprovechando la forma del tejado tal y como se puede observar en la Ilustración 12.



*Ilustración 12. Nueva posibilidad de colocación de las placas solares*

Una vez más se aprecia un error en este diseño, ya que el balcón que rompe el tejado en dos superficies proyectará sombras en nuestros módulos, con lo que se perderá energía generada y el diseño será insuficiente. Con el objetivo de subsanar esto, se reubican los módulos en los extremos del tejado, aprovechando su superficie al máximo, evitando sombras y logrando la mejor integración arquitectónica posible.

En la Ilustración 13 se pueden observar todos los paneles ubicados según el proceso explicado.



*Ilustración 13. Ubicación final escogida para el proyecto*

#### 6.8. Estudio de sombras

Una vez dimensionada la instalación, se realiza un estudio de las sombras proyectadas sobre los módulos. Este estudio se ha realizado con la ayuda del software *Google Sketchup*, el cual permite simular las sombras proyectadas por los elementos modelados en 3D según la hora y la fecha.

En el Anexo IV “Estudio de Sombras” se muestra ilustración por ilustración la evolución de las sombras proyectadas. A continuación, se muestra de forma abreviada este proceso a través de las Ilustraciones de la 14 a la 19, que van desde las 08:23h de la mañana hasta las 17:20h de la tarde. En las Ilustraciones 14 y 15 se puede observar cómo

las placas con azimut  $+15^\circ$  del lado izquierdo del tejado se encuentran tapadas por la sombra a lo largo de las primeras horas de sol de la mañana, mientras que en la Ilustración 19 se ve como son las placas del otro extremo del tejado, pero con la misma orientación, las que son tapadas por la sombra en las últimas horas de sol de la tarde.

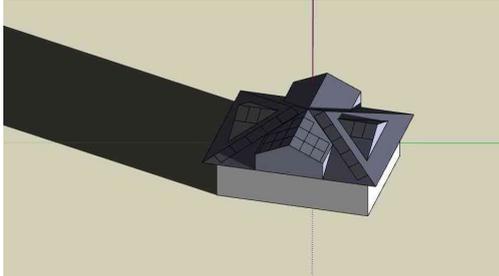


Ilustración 14. Sombras proyectadas a las 08:23h en diciembre

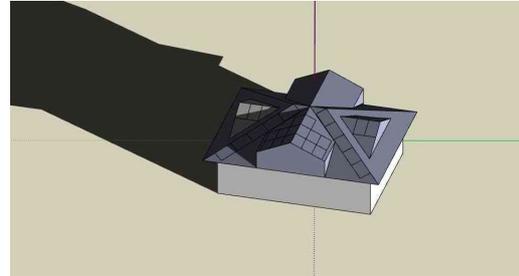


Ilustración 15. Sombras proyectadas a las 09:22h en diciembre

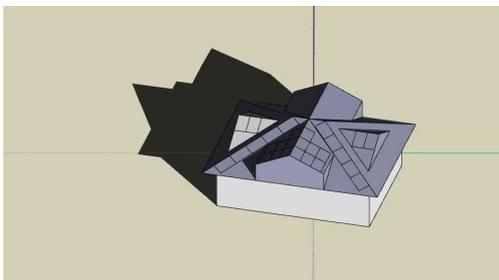


Ilustración 16. Sombras proyectadas a las 10:43h en diciembre

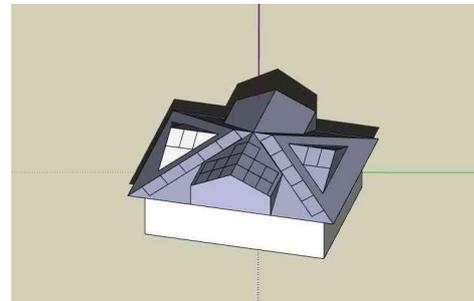


Ilustración 17. Sombras proyectadas a las 12:52h en diciembre

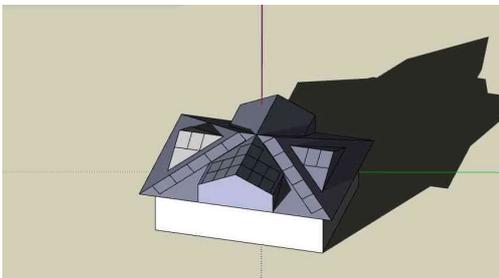


Ilustración 18. Sombras proyectadas a las 15:38h en diciembre

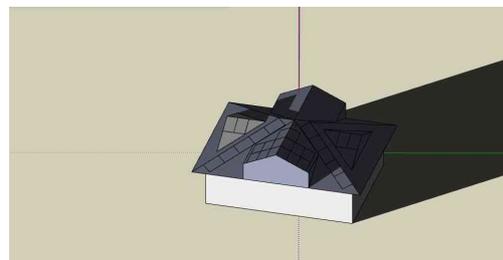


Ilustración 19. Sombras proyectadas a las 17:20h en diciembre

Esto quiere decir que, durante dos horas, al menos, el 50% de las placas orientadas con azimut  $+15^\circ$  se encuentran prácticamente sombreadas en su totalidad, lo que se traduce en unas pérdidas estimadas del 10%, lo que resulta en una instalación insuficiente al no existir nada que supla estas pérdidas.

En el siguiente apartado se procederá a aplicar las correcciones necesarias para que, a pesar de las pérdidas por sombras, la instalación fotovoltaica sea suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la vivienda.

## 6.9. Corrección del dimensionamiento

Con el fin de solucionar los problemas mostrados anteriormente, la primera parte de la solución consistirá en duplicar los módulos de las superficies peor orientadas (+103° y -77°). En la Ilustración 20 se muestra la ubicación de todos estos módulos.

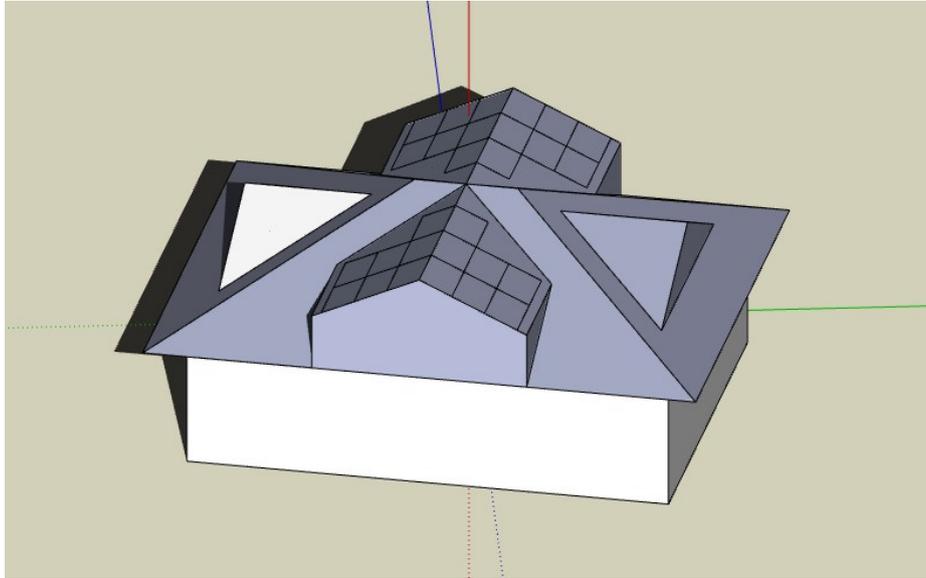


Ilustración 20. Colocación de los paneles orientados con azimut +103° y -77°

Siguiendo el proceso de cálculo mostrado en el apartado 6.2 de *Dimensionamiento del generador* se calcula la energía generada.

Se calcula en primer lugar la energía generada por las placas con azimut +103°:

$$E_{+103^\circ} = P_{\text{módulo}} * PR * HSP_{+103^\circ} * N^\circ \text{ de módulos} \quad (34)$$

$$E_{+103^\circ} = 400 * 0,9 * 0,98 * 14 = 4.939,20 \text{ W} \quad (35)$$

A continuación, se obtiene la energía generada por las placas con azimut -77°:

$$E_{-77^\circ} = P_{\text{módulo}} * PR * HSP_{-77^\circ} * N^\circ \text{ de módulos} \quad (36)$$

$$E_{-77^\circ} = 400 * 0,9 * 1,27 * 14 = 6.400,80 \text{ W} \quad (37)$$

Por tanto, la energía generada hasta ahora sería de:

$$E_D = E_{+103^\circ} + E_{-77^\circ} = 11.340 \text{ W} \quad (38)$$

Y la energía restante para cubrir el consumo de la vivienda:

$$L_{Restante} = L_{md} - E_D = 15.746,1988 - 11.340 \quad (39)$$

$$L_{Restante} = 4.406,20 \text{ Wh} \quad (40)$$

La energía restante para cubrir las necesidades energéticas será de 4.406,20 W. A partir de este dato, lo siguiente será calcular los módulos fotovoltaicos necesarios para abastecer la vivienda:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{L_{Restante}}{P_{módulo} * PR * HSP_{+1}^{\circ}} = \frac{4.406,20}{400 * 0,9 * 1,89} = 6,48 \text{ módulos} \quad (41)$$

Lo que por redondeo al entero superior resulta en un total de 7 módulos. Sin embargo, previendo la existencia de sombras que afecten a estos módulos se colocará una placa extra con la que se intentará cubrir estas pérdidas.

En este punto, se procede a ubicar las placas restantes en el tejado de la vivienda. Observando el estudio de sombras del Anexo IV, las placas se ubican en los puntos donde las sombras menos afectan. En la Ilustración 21 se pueden observar las ubicaciones elegidas para estas placas, cuatro (dos y dos) en las pequeñas superficies independientes a izquierda y derecha de la superficie principal orientada con azimut +15°, y otras 4 (dos y dos) en las esquinas inferiores de la superficie principal con orientación +15°, alejadas del balcón que rompe esta superficie para así evitar las sombras que provoca como se ha visto en el estudio del apartado anterior.

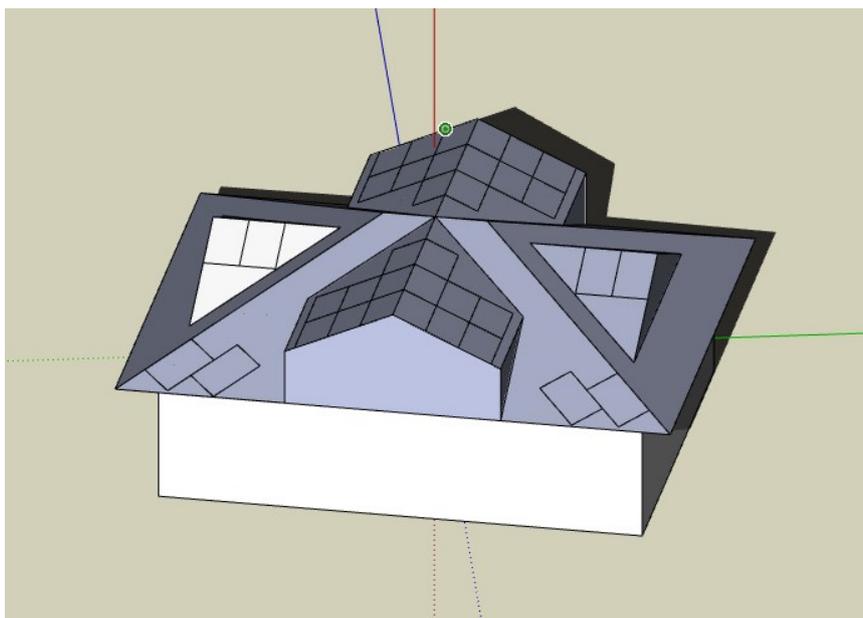


Ilustración 21. Ubicación de las placas tras la corrección

Se realiza un nuevo estudio de sombras (Anexo IV) con el que realizar el último ajuste de la instalación.

En la Ilustración 22 podemos observar cómo desde las 9h hasta las 10h de la mañana aproximadamente las sombras afectan al lado suroeste del tejado, reduciendo la producción de energía a 6 módulos completos (al estar formadas por 104 células, las placas sombreadas no dejan de funcionar por completo, sino que se “apagan” parcialmente).

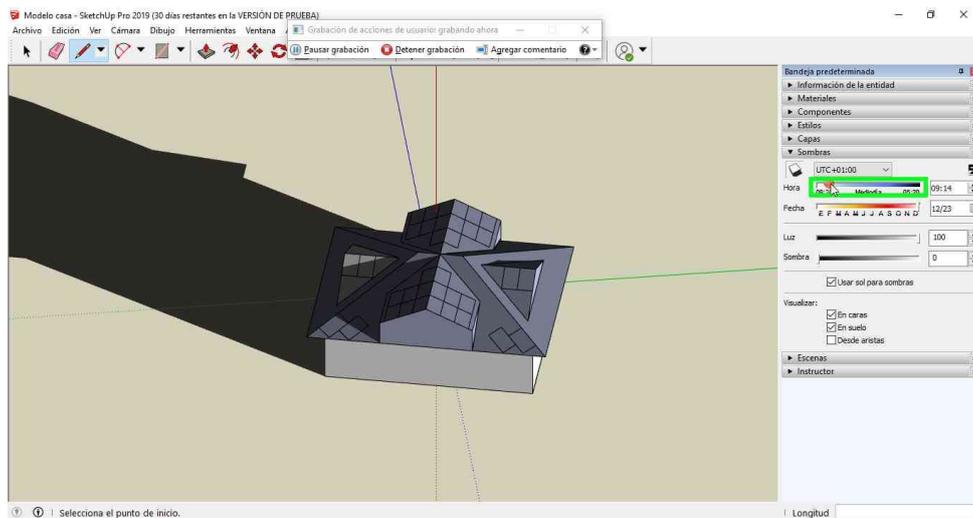


Ilustración 22. Sombras a las 09:14h

Para las últimas horas de sol del invierno, aproximadamente de las 16:30h hasta las 17:30h, la Ilustración 23 muestra como sucede algo similar al periodo anterior, habiendo 6 placas generando y otras dos sombreadas.

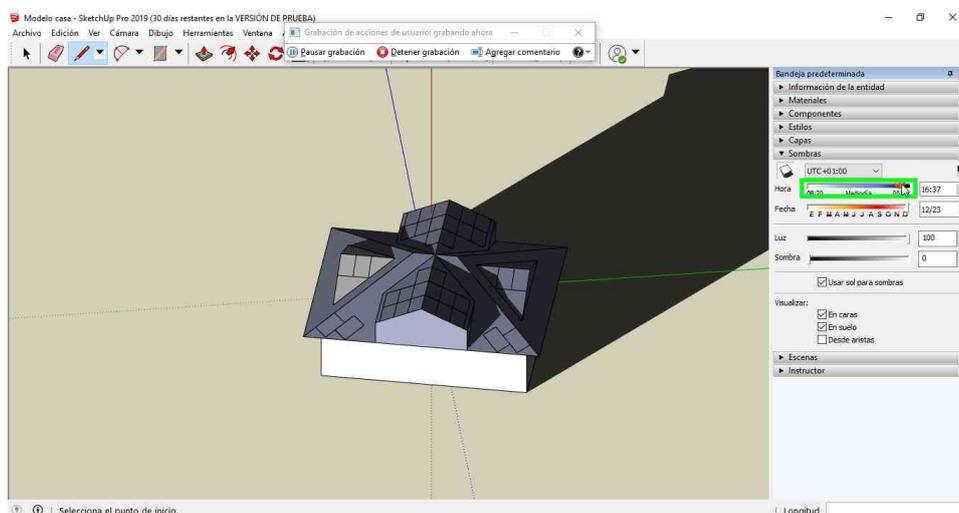


Ilustración 23. Estudio de sombras entre las 4h y las 5h de la tarde

Desde las 10h de la mañana hasta las 4h de la tarde habría 8 placas generando sin sombreado como se aprecia en las Ilustración 24, lo que sería 1 más de las que el cálculo exigía, con lo que durante estas horas cubriríamos las pérdidas por sombras generadas en las dos etapas anteriormente explicadas.

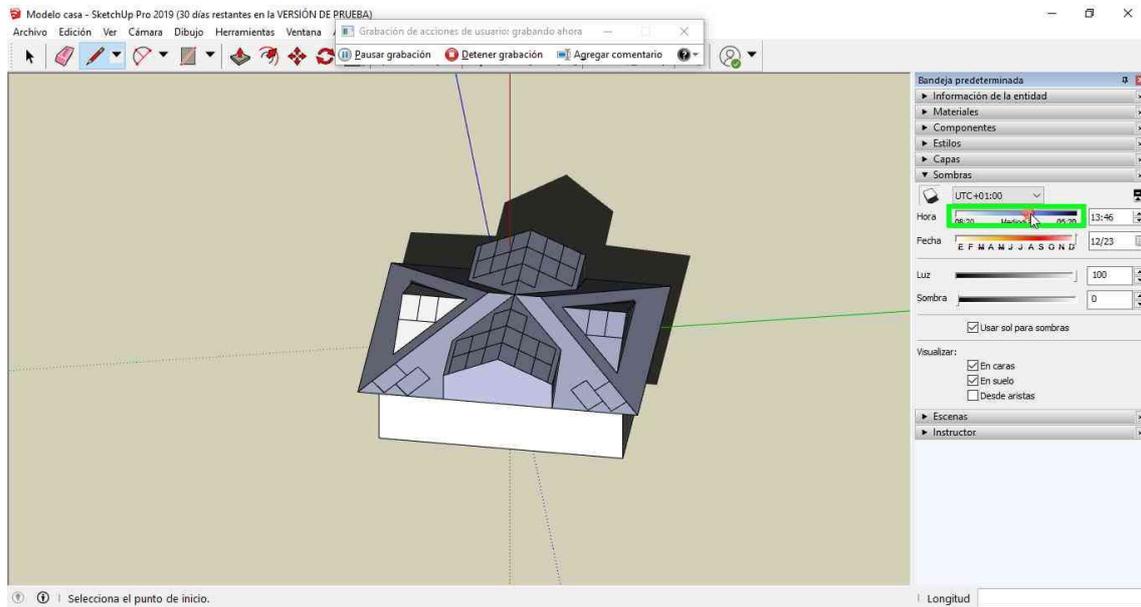


Ilustración 24. Sombras al mediodía

Como se ha visto, deberíamos tener 7 placas generando durante las horas de sol. Sin embargo, en esta instalación tenemos 6 placas generando durante al menos 2 horas y 8 placas generando durante 6 horas. Teniendo esto en cuenta, las 8 placas orientadas con azimut  $+15^\circ$  se complementan para cubrir la energía que deberían generar 7 placas con esta orientación, pero sin sombras, durante todo el tiempo.

Respecto al regulador, se dividirá el nuevo total de 36 paneles calculados en tres grupos de 12, con lo que la corriente a soportar por cada regulador pasará a ser:

$$I_{Entrada12} = 98,70 A ; I_{Salida12} = 87,25 A \quad (42)$$

El dimensionamiento del sistema de acumulación, el inversor y el cableado no varía respecto de los cálculos realizados en los apartados anteriores.

## 7. Selección de componentes

Dentro de esta selección de componentes, se debe señalar que la ubicación de los componentes (menos los módulos fotovoltaicos) será el hueco del ascensor que consta en el proyecto de la vivienda (último plano presente en el Anexo I). Este ascensor finalmente no se ejecutó (ni está previsto hacerlo), por lo que nos proporciona un espacio óptimo para ubicar todos los equipos necesarios.

Los distintos componentes diseñados se seleccionarán de entre todos los productos disponibles en el mercado, buscando proveedores de renombre que nos aporten garantías de su trabajo.

Como módulos fotovoltaicos se han seleccionado los *Maxeon 3* de la empresa *SunPower*. La empresa *SunPower* es una empresa puntera en el ámbito de los paneles solares con grandes plantas solares instaladas en distintos lugares del mundo o proyectos como la sede de Apple en California, el Coche Solar "*Artcan*" o el "*Solar Impulse*", el avión que ha dado la vuelta al mundo impulsado por energía solar haciendo uso de placas solares de este fabricante.

En lo que a las placas elegidas se refiere, las *Maxeon 3*, se comercializan como las más eficaces del mercado, un 22,6% como podemos ver en la ficha de características del Anexo V, para un total de 400 W por módulo. Como podemos ver en el Anexo V, las dimensiones de cada módulo son de 1.690 mm x 1.046 mm x 40 mm, lo que los hace aptos para la instalación de placas que se necesitan.

En el caso del regulador de carga, al ser la intensidad a soportar demasiado elevada se ha optado por conectar tres reguladores en paralelo siguiendo el esquema de la Ilustración 5 (teniendo en cuenta eso sí, que la corrección realizada posteriormente modificó el nº de paneles a 12 por regulador). El regulador de carga seleccionado es el "*VarioString VS-120, series MPPT*" del fabricante *Studer* con unas dimensiones según la ficha técnica del Anexo V de 133x322x466 mm, con lo que, ubicándolos en una de las paredes del hueco libre del sótano, no presentará problemas para su colocación.

Con este diseño se necesita un total de 44 baterías de 12,8 V y 200 Ah. El sistema de acumulación diseñado necesita 2.186,97 Ah a 48 V, por lo que estará formado por 4

grupos en paralelo (para lograr los 48 V) de 11 baterías en serie cada uno, ya que las baterías seleccionadas son de 200 Ah a 12,8 V. La batería seleccionada es la *“Victron Energy LFP-CB 12/200”* del fabricante *Victron Energy* con unas dimensiones de 297x425x274 mm, con un peso de 42 kg, lo que nos obliga a almacenar las baterías en una estantería dedicada.

Atendiendo a las características indicadas en el dimensionamiento del inversor, se ha seleccionado el *“Ingecon Sun 3 Play 10 TL”* del fabricante *Ingeteam*. Este inversor tiene unas dimensiones de 735x706x268 mm según el Anexo V, dimensiones que permiten su ubicación en otra de las paredes del habitáculo.

La estructura de soporte de los paneles seleccionado del catálogo disponible en *SunFields Europe* es la *“Estructura sobre cubierta inclinada con anclaje salvateja para tejado con teja KHT915”* del fabricante *SUNFER*.

El cableado, atendiendo a la normativa aplicable, será *“Cable eléctrico LIBRE HALOGENOS H07Z1-K 25mm”*, cuyas características técnicas se pueden consultar en su correspondiente ficha técnica presente en el Anexo V de este TFG.

## 8. Planificación del proyecto

Para la planificación se ha realizado una división previa en tareas y subtareas, asignándole a cada una un objetivo y un entregable, para posteriormente generar con esta información, el diagrama de Gantt del TFG.

### 8.1. Desglose de la planificación

---

	<i>Objetivo:</i> El objetivo de esta tarea es enfocar el Trabajo de Fin de Grado y obtener los datos iniciales para iniciar el TFG.
<i>Tarea 1</i>	<i>Subtarea 1</i> <i>Objetivo:</i> Definir la base del Trabajo de Fin de Grado a realizar. <i>Entregable:</i> Título del Trabajo de Fin de Grado.
	<i>Subtarea 2</i> <i>Objetivo:</i> Obtener los datos de localización, dimensiones y distribución de la vivienda en la que se diseñará y dimensionará la instalación fotovoltaica. <i>Entregable:</i> Planos de la vivienda que será objeto del estudio.
	<i>Objetivo:</i> El objetivo de esta tarea es obtener la información básica necesaria sobre todos los temas relacionados con el TFG.
<i>Tarea 2</i>	<i>Subtarea 1</i> <i>Objetivo:</i> Informarse sobre las distintas opciones existentes en el mundo de las energías renovables y, sobre todo, en las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red y los distintos métodos de dimensionamiento existentes. <i>Entregable:</i> Listado de bibliografía consultada.
	<i>Subtarea 2</i> <i>Objetivo:</i> Consultar la normativa existente en el mundo de la energía fotovoltaica en el territorio español. <i>Entregable:</i> Listado de la normativa aplicable para nuestro TFG.

---

	<i>Subtarea 3</i>	<p><i>Objetivo:</i> Consulta de los proyectos tipo existentes para las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red.</p> <p><i>Entregable:</i> Listado de apartados típicos presentes en los proyectos tipo.</p>
	<i>Subtarea 4</i>	<p><i>Objetivo:</i> Consulta de los condicionantes a cumplir para optar a ayudas y subvenciones del gobierno español.</p> <p><i>Entregable:</i> Documento del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red del IDAE.</p>
		<p><i>Objetivo:</i> El objetivo de esta tarea es diseñar y dimensionar la instalación fotovoltaica aislada de la red que dará suministro a la vivienda que se escogió en la primera tarea.</p>
<b>Tarea 3</b>	<i>Subtarea 1</i>	<p><i>Objetivo:</i> Obtener los datos de radiación solar y Hora Solar Pico en la ubicación de la vivienda independientemente de la inclinación, pero con el grado de azimut de la vivienda.</p> <p><i>Entregable:</i> Tablas de radiación solar y HSP.</p>
	<i>Subtarea 2</i>	<p><i>Objetivo:</i> Estimar el consumo medio diario de la vivienda teniendo en cuenta la distribución de la misma y el uso que se hace en ella de los distintos electrodomésticos y cargas.</p> <p><i>Entregable:</i> Dato del consumo medio diario.</p>
	<i>Subtarea 3</i>	<p><i>Objetivo:</i> Escoger un método de dimensionamiento entre los distintos posibles y preparar los cálculos necesarios para el tratamiento de los datos obtenidos en anteriores apartados.</p> <p><i>Entregable:</i> Hoja de cálculo con las fórmulas necesarias.</p>
	<i>Subtarea 4</i>	<p><i>Objetivo:</i> Caracterizar los componentes dimensionados previamente seleccionando en el mercado entre los productos disponibles.</p> <p><i>Entregable:</i> Listado de productos seleccionados.</p>

<i>Tarea 3</i>	<i>Subtarea 5</i>	<p><i>Objetivo:</i> Escoger la disposición final de los módulos fotovoltaicos en el tejado de la vivienda.</p> <p><i>Entregable:</i> Dimensionado tridimensional de la vivienda con los módulos.</p>
	<p><i>Objetivo:</i> El objetivo de esta tarea es la redacción de la memoria técnica del TFG.</p>	
<i>Tarea 4</i>	<i>Subtarea 1</i>	<p><i>Objetivo:</i> Informarse sobre el formato a utilizar en la memoria y el resto de normativa aplicable, tanto en la realización del Trabajo de Fin de Grado, como en la evaluación del mismo.</p> <p><i>Entregable:</i> Portada del TFG y formato a utilizar.</p>
	<i>Subtarea 2</i>	<p><i>Objetivo:</i> Organizar la estructura inicial de la memoria técnica del TFG para el posterior desarrollo de los distintos apartados.</p> <p><i>Entregable:</i> Índice de contenidos.</p>
	<i>Subtarea 3</i>	<p><i>Objetivo:</i> Redactar la introducción del TFG.</p> <p><i>Entregable:</i> Apartado de introducción.</p>
	<i>Subtarea 4</i>	<p><i>Objetivo:</i> Redactar el apartado del objetivo del TFG.</p> <p><i>Entregable:</i> Apartado de objetivo.</p>
	<i>Subtarea 5</i>	<p><i>Objetivo:</i> Redactar un anexo con el resumen de la normativa aplicable a las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red.</p> <p><i>Entregable:</i> Resumen de la normativa aplicable.</p>
	<i>Subtarea 6</i>	<p><i>Objetivo:</i> Estudiar el proyecto de construcción de la vivienda y redactar un apartado donde queden reflejadas las particularidades de la distribución de la vivienda.</p> <p><i>Entregable:</i> Tabla de distribución de la vivienda.</p>
	<i>Subtarea 7</i>	<p><i>Objetivo:</i> Realizar el estudio climatológico de la ubicación de la vivienda teniendo en cuenta las particularidades del tejado de la misma.</p> <p><i>Entregable:</i> Apartado del estudio climatológico.</p>

<i>Subtarea 8</i>	<i>Objetivo:</i> Dimensionar la instalación fotovoltaica a partir de los datos de apartados anteriores. <i>Entregable:</i> Apartado del dimensionamiento del sistema.
<i>Subtarea 9</i>	<i>Objetivo:</i> Explicar la caracterización de los componentes realizada en el proceso de selección de componentes. <i>Entregable:</i> Apartado de selección de componentes del sistema.
<i>Subtarea 10</i>	<i>Objetivo:</i> Realizar el presupuesto del proyecto en tres apartados, RRHH, materiales utilizados y componentes seleccionados. <i>Entregable:</i> Apartado de presupuesto del proyecto.
<i>Subtarea 11</i>	<i>Objetivo:</i> Reflejar la planificación realizada para el TFG y el tiempo invertido realmente. <i>Entregable:</i> Apartado de planificación.
<i>Subtarea 12</i>	<i>Objetivo:</i> Reflejar en un apartado las conclusiones tanto técnicas como personales de este TFG. <i>Entregable:</i> Apartado de conclusiones.

*Objetivo:* El objetivo de esta tarea es realizar la unión de todos los apartados redactados en la tarea anterior, realizar la revisión final de los mismos y darle forma como memoria técnica del TFG.

*Tarea 5*

<i>Subtarea 1</i>	<i>Objetivo:</i> Unir los apartados redactados anteriormente y revisar la estructura definitiva de la memoria técnica. <i>Entregable:</i> Documento único de memoria técnica.
<i>Subtarea 2</i>	<i>Objetivo:</i> Revisar la memoria técnica en busca de mejoras y corrección de errores en la redacción final. <i>Entregable:</i> Memoria técnica revisada.
<i>Subtarea 3</i>	<i>Objetivo:</i> Darle al TFG el formato y estructura definitiva a entregar. <i>Entregable:</i> Documento final del TFG.

8.2. Diagrama de Gantt

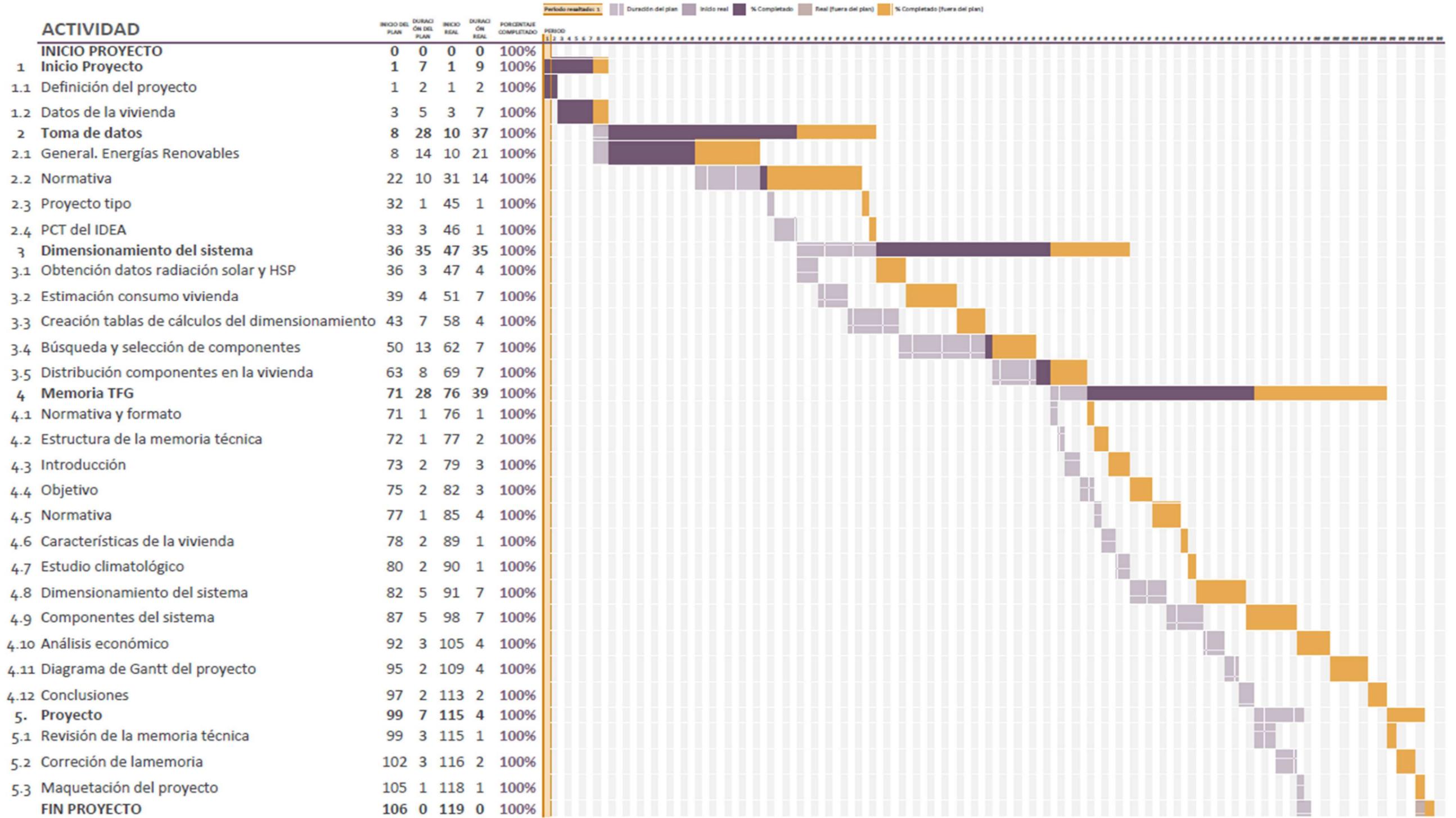


Ilustración 25. Diagrama de Gantt del Trabajo de Fin de Grado

## 9. Análisis económico

Finalmente se ha realizado un presupuesto del coste asociado a la memoria técnica realizada (dividiendo en recursos humanos y equipo y software utilizado) y por otra parte del coste de la instalación que se ha diseñado y dimensionado en este TFG.

No se mostrará un resumen del total de ambos presupuestos ya que se ha considerado que la realización de la memoria técnica no conlleva obligatoriamente la construcción de la instalación diseñada, con lo que no procede la suma de ambos costes.

En cuanto al presupuesto de la instalación diseñada, se debe destacar que no se incluye en el mismo el coste de la mano de obra de la instalación. Esto se ha hecho así ya que la construcción de la instalación podría ser ejecutada por distintas empresas (con presupuestos que pueden llegar a ser muy dispares) o incluso lo pueden realizar los propios residentes de la vivienda, ahorrándose así un gran coste que amortizar.

### 9.1. Presupuesto de la memoria técnica

El coste de esta memoria técnica se ha dividido en dos subapartados, el de recursos humanos y el de los materiales utilizados.

#### 9.1.1. Recursos humanos

En el diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica objeto de este estudio ha participado un ingeniero junior bajo la supervisión de un ingeniero senior, resumiendo en la Tabla 16 los costes del personal involucrado.

Tabla 16. Costes de los RRHH involucrados en el proyecto.

Personal involucrado	Coste por hora	Tiempo invertido (horas)	Precio unitario
Ingeniero junior	15€/h	357	5.355 €
Ingeniero senior	60€/h	30	1.800 €
		<b>Total</b>	<b>7.155 €</b>

#### 9.1.2. Equipos y software utilizados en el proyecto

Durante la realización del proyecto, se ha hecho uso de una serie de materiales y programas informáticos que se detallan a continuación.

En relación al equipo informático utilizado, se trata de un ordenador portátil ya en propiedad, cuyo coste está ya amortizado.

En relación al software utilizado:

- En lo relativo al software dedicado al estudio de instalaciones fotovoltaicas, PVSyst, se ha hecho uso de un periodo de prueba gratuita que se ofrece con el software. De haber sido necesario, el coste de la licencia hubiera sido de 300 €/año.
- Para el modelado 3D y el estudio de sombras se ha utilizado una licencia gratuita temporal del programa Google Sketchup. De haber sido necesario, el coste de la licencia hubiera sido de 909 €.
- Para el montaje de todos los apartados en formato PDF se ha hecho uso de una prueba gratuita de 7 días del software Adobe Acrobat Pro. De haber sido necesario, el coste de la licencia hubiera sido de 15,72 €/mes durante un año.
- En lo que respecta al resto del software utilizado, al igual que sucede con el hardware utilizado, se considera ya amortizado por el uso que ya traía.

Los costes de todo este equipo y software se reflejan en la Tabla 17.

*Tabla 17. Costes de los equipos y el software utilizados en el proyecto.*

Material utilizado	Coste
Ordenador portátil	0 €
Microsoft Windows 10	0 €
Microsoft Office Word 2016	0 €
Microsoft Office Excel 2016	0 €
Microsoft Office Power Point 2016	0 €
PVSyst	0 €
Adobe Acrobat Pro DC	0 €
Google Sketchup	0 €
Total	0 €

El coste total del equipo necesario para la realización de la memoria técnica es de 0€.

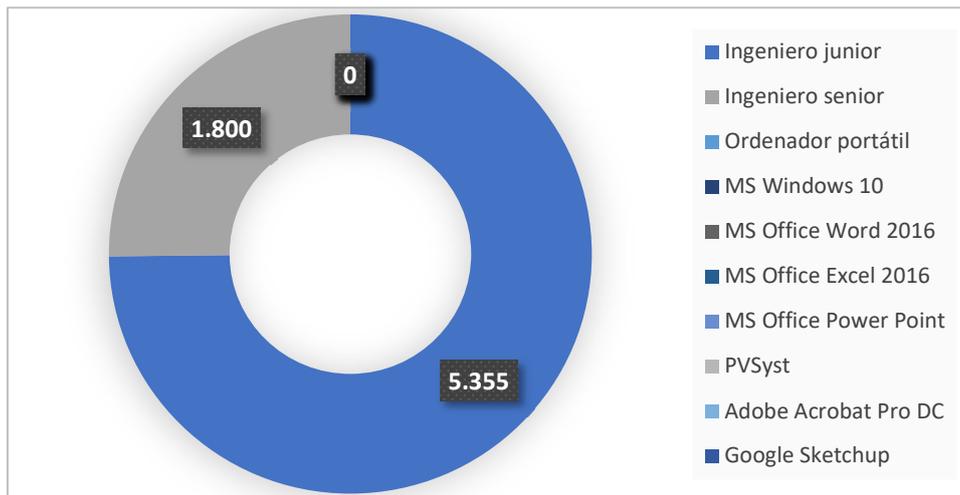


Ilustración 26. Distribución de costes de la memoria técnica

En la Ilustración 26 se puede apreciar la distribución de coste de la memoria técnica realizada en este TFG. El coste total de la misma asciende a 7.155 €.

## 9.2. Presupuesto de la instalación

El siguiente apartado se dedica a realizar un análisis económico de la instalación diseñada en este TFG. En primer lugar, se presupuestará el coste de los componentes que la forman y posteriormente se realizará un análisis de rentabilidad de la misma.

### 9.2.1. Costes de los componentes

En lo que respecta a los componentes diseñados en este TFG, el coste de los productos seleccionados en el apartado 7 de esta memoria se reflejan en la Tabla 18.

Tabla 18. Costes de la instalación fotovoltaica diseñada.

Descripción	Producto seleccionado	Tiempo de garantía	Coste por unidad	Cantidad	Coste final
Módulos fotovoltaicos	SunPower Maxeon 3	25 años	400 €	36	14.400 €
Estructura de soporte	Estructura sobre cubierta inclinada con anclaje salvateja para tejado con teja KHT915	25 años	64 €	28	1.792 €
Regulador	VarioString VS-120, series MPPT	5 años	1.582 €	3	4.746 €

<b>Inversor</b>	<i>Ingecon Sun 3 Play 10 TL</i>	25 años	2.800 €	1	2.800 €
<b>Sistema de acumulación</b>	<i>Victron Energy LFP-CB 12/200</i>	2 años	260 €	44	11.440 €
<b>Cableado</b>	<i>Cable eléctrico LIBRE HALOGENOS H07Z1-K 25mm</i>	-	3,52€	100	352 €
				<b>Total</b>	<b>35.530 €</b>

El coste total de los componentes de la instalación fotovoltaica para autoconsumo aislada de la red asciende a la cantidad de 35.530 € y la distribución de los costes se puede observar en la Ilustración 27.

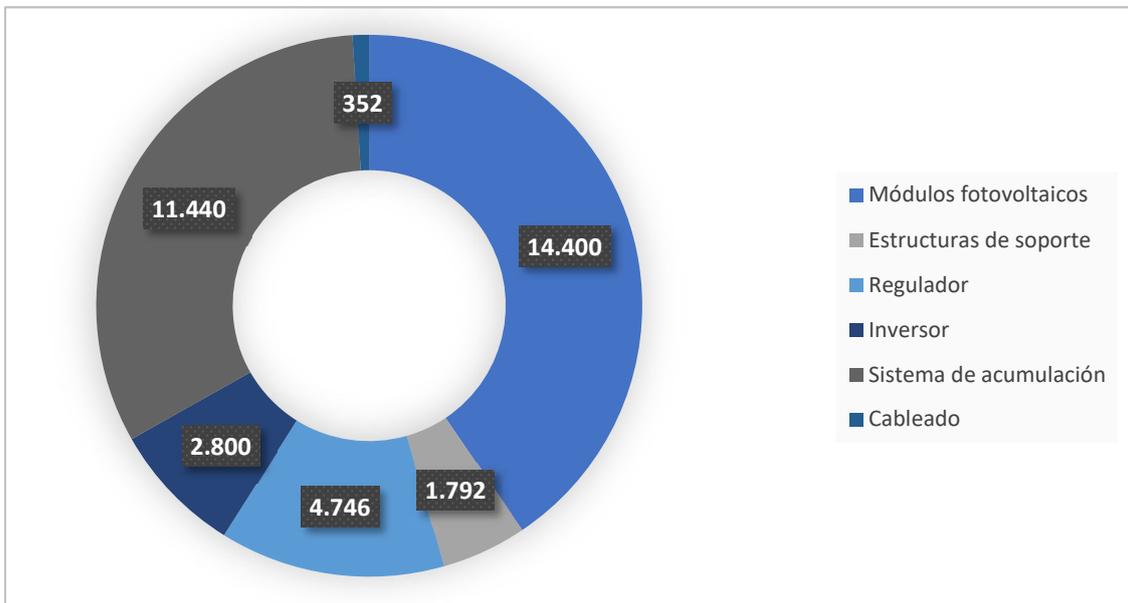


Ilustración 27. Distribución de costes de la instalación

### 9.2.2. Análisis de rentabilidad

A continuación, se procede a realizar un análisis de la rentabilidad de la instalación basándonos en el plazo de amortización de la misma.

En primer lugar, se analiza el precio de la factura de la luz que actualmente tiene la vivienda. Analizando distintas compañías y tarifas, el precio medio anual del kW es de 41,156 €/kW, mientras que el precio medio del consumo es de 0,12 €/kWh.

Debido a las necesidades energéticas que tiene la vivienda, actualmente tiene un contrato de 9,2 kW, y el consumo, tal y como se ha calculado en el apartado de la estimación de consumo, es de 15.746,20 kWh/día.

La tabla 19 y la Ilustración 28 muestran el resultado del cálculo del coste de la factura de esta vivienda teniendo en cuenta, además de los precios arriba mencionados, los impuestos a los que se ve sometida la luz en España.

Tabla 19. Cálculo de la factura eléctrica ahorrada

Descripción	Valor	Coste
Coste potencia contratada	41,156	378,64
Coste energía consumida	0,12	680,24
	<b>Coste energético total</b>	<b>1.058,88</b>
Impuesto sobre la electricidad	5,11269632%	54,14
	<b>Coste tras impuesto</b>	<b>1.113,01</b>
IVA	21%	233,73
	<b>Coste total</b>	<b>1.346,75</b>

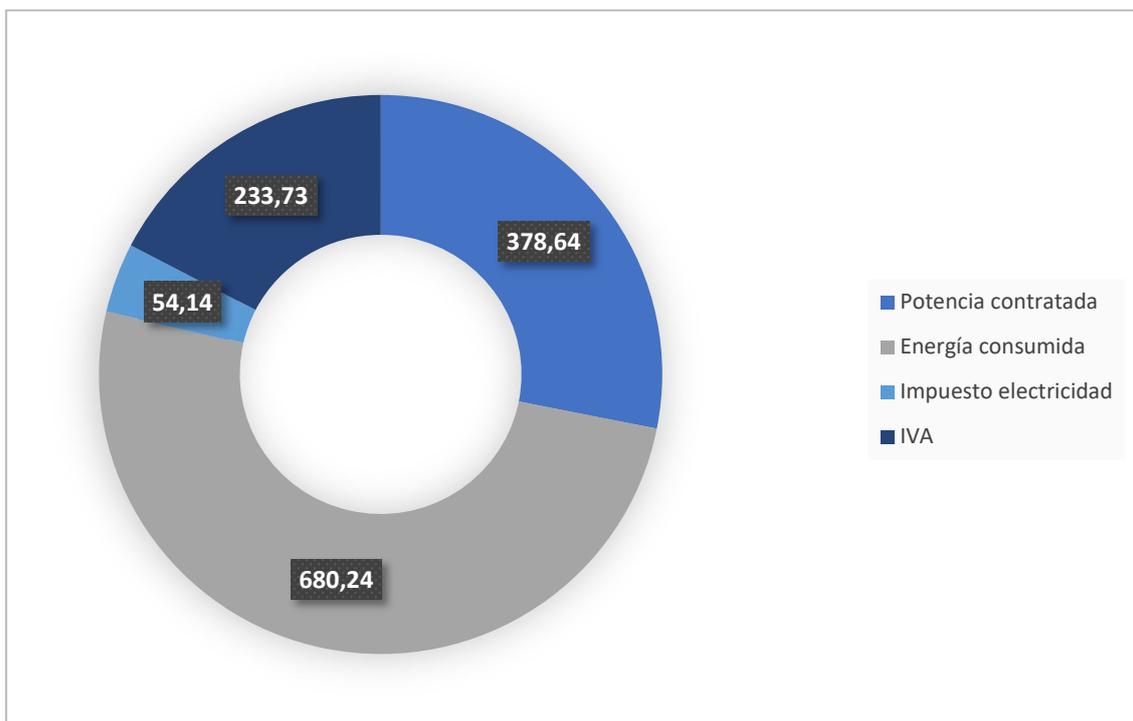


Ilustración 28. Factura eléctrica anual de la vivienda

El coste eléctrico anual de la vivienda es de 1.292,60 €. Teniendo en cuenta el coste de la instalación, que es de 35.530 € según lo mostrado en el presupuesto anterior, el plazo de amortización de esta instalación es de 27 años, 5 meses y 26 días.

La instalación diseñada consta de 36 módulos fotovoltaicos debido a la complejidad de forma del tejado y a la inclinación del mismo, que se respeta a la hora de colocar los paneles en pos de una mayor integración arquitectónica. Esto conduce a introducir en la instalación módulos con mala orientación y una inclinación que no es la óptima, lo que, sumado a la problemática de las sombras que producen las formas del tejado sobre los módulos, produce una amortización a tan largo plazo como la que hemos calculado.

Este plazo es mayor que el plazo de garantía de los principales componentes que forman la instalación fotovoltaica (que es de 25 años). Sin embargo, la garantía no define la vida útil real de los componentes, con lo que, a pesar de ser relevante, no es un dato definitivo para esta instalación.

A partir del coste de la instalación y del ahorro en la factura eléctrica calculada, se presenta en la Ilustración 26 el gráfico de amortización de la instalación. Como se puede observar, y como se ha mostrado anteriormente, el plazo de amortización de la instalación finaliza entre los años 27 y 28 de la vida de la instalación (un largo plazo), para después pasar a generar un ahorro directo en la vivienda, llegando a ahorrar un total de 16.174,11 € en 40 años, plazo considerado máximo para la vida de una instalación de este tipo.

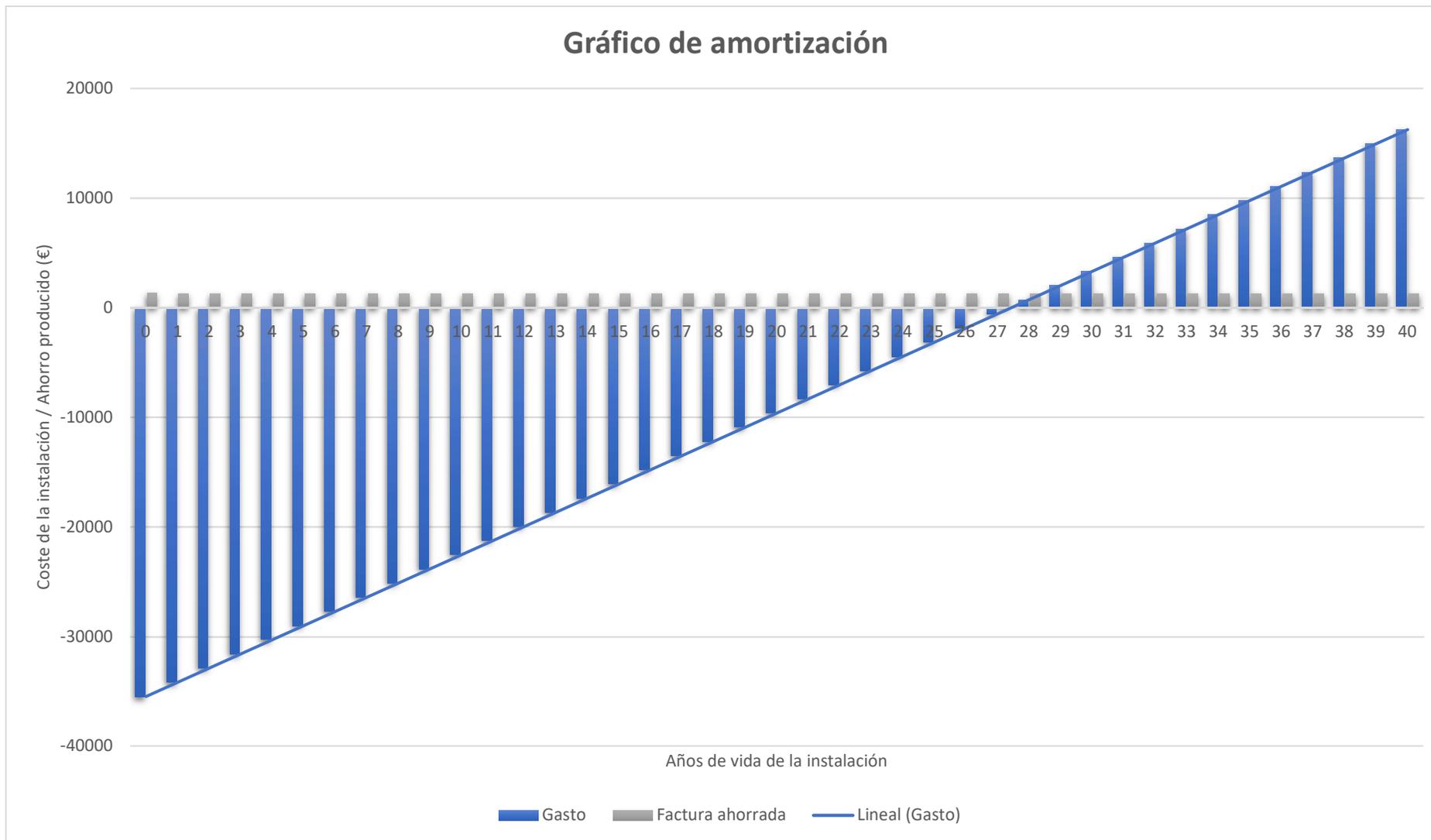


Ilustración 29. Gráfico de amortización de la instalación diseñada

## 10. Conclusiones

Concluido el diseño y dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, se reflejan a continuación las conclusiones de este Trabajo de Fin de Grado.

### 10.1. Conclusiones del trabajo de fin de grado

Como primer hito de este Trabajo de Fin de Grado, se ha demostrado la viabilidad técnica de la instalación a diseñar mediante un estudio climatológico básico, a pesar de que la rentabilidad económica de la instalación sea a muy largo plazo.

Este TFG ha logrado diseñar y dimensionar una instalación fotovoltaica para autoconsumo aislada de la red, que dé suministro a una vivienda unifamiliar en el municipio de Gautegiz-Arteaga perteneciente a la provincia de Bizkaia en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Una vez dimensionados los distintos componentes de la instalación, se han caracterizado con productos comerciales, dando como resultado un coste de materiales de 35.530,00 €.

Sin embargo, debido a la problemática encontrada en el estudio de sombras, provocada por las distintas superficies con distintas inclinaciones y orientaciones, el diseño inicial de la instalación ha debido ser modificado, pasando de los 28 módulos iniciales a los 36 finales, hecho que influye notablemente en la viabilidad de este proyecto. Se considera que, a pesar de la viabilidad técnica del proyecto, el hecho de que la rentabilidad económica sea dudosa, es suficiente como para considerar otras opciones. Aparecen como opciones tal vez más viables e interesantes para esta vivienda en particular, las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo conectadas a la red, bajo la nueva legislación explicada en el Anexo II, o aquellas instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo que se apoyan en generadores secundarios para complementar su producción, siendo un molino eólico una opción muy importante dado el clima presente.

## 10.2. Conclusiones personales

En lo que a la realización del TFG respecta, se han encontrado numerosos retos en el proceso. Desde el hecho de abordar el mundo de las energías renovables, el cual apenas se ha trabajado en el transcurso del grado cursado, hasta el proceso de cálculo a escoger y llevar a cabo, saliéndose de los típicos “problemas” presentados en las aulas, frente a los cuales el alumno suele disponer de un proceso bastante claro y definido a seguir, mientras que en este proyecto se ha hecho frente a diversas posibilidades por descubrir, entre las que se ha tenido que escoger mediante procesos informativos y prácticos

La elaboración de este TFG ha traído consigo el desarrollo de capacidades en aspectos tales como la capacidad de decisión sobre los elementos a trabajar, los métodos a utilizar, la estructura a seguir..., la búsqueda de información en un ámbito relacionado con el del grado cursado, pero lejos de los temas trabajados a lo largo del mismo, o la organización y planificación, de una forma más cercana al mundo laboral al que se ha dado el salto.

Además, se ha hecho uso de una serie de programas informáticos que se desconocían previamente, como por ejemplo *Google Sketchup*, programa que se ha utilizado para el modelado 3D de la vivienda y para realizar el estudio de sombras, o *PVSyst*, con el que se han obtenido los datos para el estudio climatológico y cuya base de datos de componentes comerciales ha sido de gran utilidad para el proceso final de selección de componentes de este TFG.

## 11. Bibliografía

A. Peuser, D. F., Remmers, K.-H. & Schnauss, M., 2005. *Sistemas Solares Térmicos. Diseño e instalación*. Primera ed. Berlín: PROGENSA.

Alonso Abella, M., 2005. *Sistemas Fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*. Segunda ed. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): S.A.P.T. Publicaciones Técnicas S.L..

Anon., 2014. *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias*. Segunda ed. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): PLCMadrid.

Antony, F., Dürschner, C. & Remmers, K.-H., 2006. *Fotovoltaica para profesionales. Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas*. Primera ed. Berlín: PROGENSA.

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (España), 2008. *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica..* Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): CINEMAT.

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (España), 2008. *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica*. Decimosegunda ed. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): CIEMAT.

Colectivo, 2008. *Sistemas de energía fotovoltaica. Manual del Instalador*. Tercera ed. Sevilla(Andalucía): PROGENSA.

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, 2008. *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installer, architects and engineers*. Segunda ed. London: Earthscan.

Ente Vasco de la Energía (EVE), s.f. *Energía Solar*. Bilbao: Ente Vasco de la Energía (EVE).

ENTE VASCO DE LA ENERGÍA, División de Investigación y Recursos; IKERLAN, Sdad. Coop. Departamento de Energía, 199. *Atlas de radiación solar del País Vasco*. Tercera ed. Bilbao(País Vasco): Ente Vasco de la Energía (EVE).

García López, M., 2010. *Manual de mantenimiento de Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Red*. Primera ed. Sevilla(Andalucía): PROGENSA.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009. *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. Segunda ed. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): IDAE.

Moreno Alfonso, N. & García Díaz, L., 2010. *Instalaciones de energía fotovoltaica*. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): Garceta.

Moreno Gil, J., Fernández García, C. & Pindado Ruiz, A., 2014. *Manual Técnico del Electricista. Instalaciones Eléctricas Interiores*. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): P.L.C.Madrid.

Moreno Gil, J., Pindado Ruiz, A. & Fernández García, C., 2014. *Manual Técnico del Electricista. ITC-52 Infraestructura para la Recarga de Vehículos Eléctricos*. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): P.L.C.Madrid.

Moreno Gil, J., Romero Minassian, M. & Pindado Ruiz, A., 2014. *Manual Técnico del Electricista. Documentación y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas*. Madrid(Comunidad Autónoma de Madrid): P.L.C.Madrid.

Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.

Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.