



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO DE UNA VIVIENDA
MODULAR AUTOSUFICIENTE
PARA LA ACOGIDA DE
REFUGIADOS EN ESPAÑA**

Alumno: Andrés Tur McGlone

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

09/01/2020

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Andrés Tur McGlone DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: DISEÑO DE UNA VIVIENDA MODULAR AUTOSUFICIENTE PARA LA ACOGIDA DE REFUGIADOS EN ESPAÑA que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 09 de enero de 2020

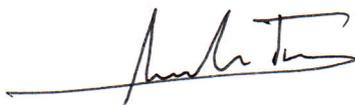
ACEPTA

Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

--

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
DISEÑO DE UNA VIVIENDA MODULAR AUTOSUFICIENTE PARA LA
ACOGIDA DE REFUGIADOS EN ESPAÑA
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/2020 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Andrés Tur McGlone

Fecha: 09/01/20

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Firmado digitalmente
por Carlos Morales Polo
Fecha: 2020.01.15
12:11:52 +01'00'

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha://



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO DE UNA VIVIENDA
MODULAR AUTOSUFICIENTE
PARA LA ACOGIDA DE
REFUGIADOS EN ESPAÑA**

Alumno: Andrés Tur McGlone

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

09/01/2020

DISEÑO DE UNA VIVIENDA MODULAR AUTOSUFICIENTE PARA LA ACOGIDA DE REFUGIADOS EN ESPAÑA

Autor: Tur McGlone, Andrés.

Director: Morales Polo, Carlos

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño de una vivienda aislada de la red, para 4 personas (2 padres y 2 hijos), que hayan sido desplazados de su lugar de origen. Dicha vivienda será abastecida tan solo por energías renovables para reducir el impacto ambiental al máximo.

Objetivos

- Definir de una vivienda que albergue a 4 personas y no esté conectada a la red (autoconsumo sin excedentes).
- Que la energía utilizada para abastecer la demanda sólo provenga de fuentes renovables. No contará con ningún grupo electrógeno.
- Que todos los consumos sean abastecidos con electricidad, eliminando la necesidad de la contratación de gas, reduciendo así el impacto ambiental.
- Que se cumpla el abastecimiento total de la demanda horaria de todo el año.
- Obtener una tasa interna de retorno (TIR) positiva en 20 años.
- Obtener un periodo de retorno de la instalación en menos de 20 años.

Motivación

- Crisis migratoria: En la actualidad, una de las mayores catástrofes con las que tiene que combatir el ser humano es el gran número de personas alrededor del planeta que se ven obligadas a abandonar sus hogares por diversos motivos. Una gran cantidad de desplazados son obligados a vivir en campamentos de refugiados, en los cuales las condiciones para tener una vida normal son muy desfavorables. Es por ello que la vivienda que se va a diseñar va enfocado a una familia que pueda ser acogida en el territorio nacional.
- Crisis medioambiental: Por otro lado, el ser humano también tiene que hacer frente al calentamiento global y la futura escasez de combustibles fósiles. Afortunadamente la tendencia mundial indica que se está llevando a cabo una transición energética para reducir el impacto medioambiental. Uno de los sectores con mayor impacto a nivel mundial es el de los edificios, por lo que es interesante que este sector siga con la misma tendencia.
- Actualmente estoy trabajando en la empresa Circle Energy and Development S.L., en la cual desarrollamos plantas solares fotovoltaicas y proporcionamos servicios de consultoría relacionados a dicha tecnología. Es por ello que tengo un interés especial por las fuentes renovables, en concreto la solar fotovoltaica para autoconsumo. Se prevé que esta tecnología tendrá una gran penetración en los próximos años gracias al nuevo Real Decreto 244/2019, 5 de abril, sobre la

regulación técnico-económica y administrativa del autoconsumo, que va a fomentar el autoconsumo tanto en el sector residencial como industrial.

Metodología

- Tras hacer una contextualización sobre la situación actual de la crisis migratoria y medioambiental, se procederá a describir la tecnología utilizada para cubrir la demanda.
- A continuación, se definirán las dimensiones de la vivienda y donde será ubicada, teniendo en cuenta el origen de las personas desplazadas a España y la ubicación de los recursos renovables disponibles.
- Posteriormente se hará una estimación del perfil del consumo horario de todos los días del año.
- A través del programa informático PVsyst 6.7. se hará el dimensionamiento de la instalación de generación y almacenamiento para cubrir la demanda procurando reducir el impacto económico al máximo.
- Después se realizará un balance económico, estimando el coste de inversión de la instalación, y los ahorros generados por no tener contratada una tarifa eléctrica. Con estos datos se podrá estimar la rentabilidad económica del proyecto.
- Se incluirá un apartado analizando las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evitadas por no tener el consumo conectado a la red.
- Finalmente, habrá un apartado de conclusiones sobre los resultados obtenidos de producción y del análisis económico.
- Adicionalmente se añaden tres anexos: el primero con la distribución de los consumos horarios de cada mes. El segundo con planos de la vivienda y un tercer anexo con la documentación técnica de los equipos utilizados.

Estado del arte

- Crisis migratoria: Según los datos de ACNUR (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados) el número de desplazados a nivel mundial asciende hasta los 68,5 millones de personas, de las cuales 25,4 millones son refugiados. En cuanto a la situación en Europa, la gran mayoría de inmigrantes provienen de África, Oriente medio, sur de Asia y Balcanes occidentales. Los principales inmigrantes que llegan a España son de origen africano. En el año 2017 España tenía 31.120 solicitudes de asilo. Actualmente, más 2,6 millones de personas viven en campamentos de refugiados en todo el mundo.
- Crisis medioambiental: Según el Internal Displacement Monitoring Centre, 22,5 millones de personas han sido desplazadas por desastres climatológicos desde 2008 a 2015. Por otro lado, los edificios son culpables de 1/3 de las emisiones de GEI a nivel mundial. En concreto en España, en 2017, los edificios representaron un 8% de las emisiones totales, de las cuales, el 58% provienen del sector residencial. Ese año, el sector eléctrico fue el segundo sector que más GEI produjo, llegando a un 20% de las emisiones totales. En cuanto a la distribución de las GEI, el 80% de ellos los compone el dióxido de carbono (CO₂)
- Autoconsumo en España: España fue pionera en el desarrollo de plantas solares fotovoltaicas durante el año 2008, sin embargo, la recesión dio lugar a una mayor regulación en el sector, que afectó gravemente al consumo residencial. Se

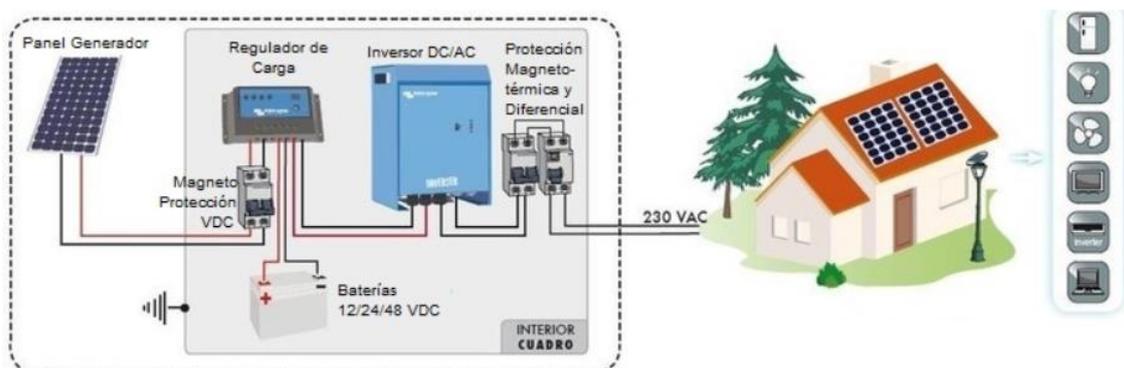
introdujeron numerosos peajes y el conocido “impuesto al sol”. Afortunadamente, el pasado 5 de abril se aprobó el Real Decreto 244/2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Con este decreto se pretende impulsar la instalación de generación de autoconsumo eliminando dicho impuesto y el resto de las trabas administrativas y económicas que habían frenado la penetración del autoconsumo en el país. Dentro de las modalidades existentes, la vivienda a desarrollar se considerará del tipo individual sin excedentes, puesto que estará aislada a la red.

Energía solar fotovoltaica

- Para el abastecimiento de la vivienda se utilizará la energía solar fotovoltaica. Dicha tecnología produce electricidad a partir de la radiación solar aprovechando el efecto fotoeléctrico. Las principales razones para elegir esta tecnología son:
 - Tecnología renovable que ha sufrido el mayor abaratamiento en la última década. El coste de generación se ha reducido un 80% desde 2008.
 - A diferencia de otras tecnologías renovables en autoconsumo residencial, esta genera directamente electricidad. No hace falta realizar una transformación de calor a electricidad como puede ser la energía solar térmica o geotérmica.
 - España cuenta con una gran cantidad de recurso solar disponible en casi todo el territorio nacional.
 - Es una tecnología con un nivel muy bajo de mantenimiento.
 - El retorno energético (cociente entre energía producida y energía utilizada para desarrollar dicha actividad) ronda entre 1 y 2 años en el territorio español.
 - Gran reducción de emisiones de GEI comparado con otras tecnologías. Se estima que una instalación solar fotovoltaica de pequeña escala genera al menos 20 veces menos emisiones de CO₂ que una central térmica de carbón para producir la misma cantidad de energía.
 - El sector de energía solar es el mayor contribuyente a la hora de crear empleos a nivel mundial.

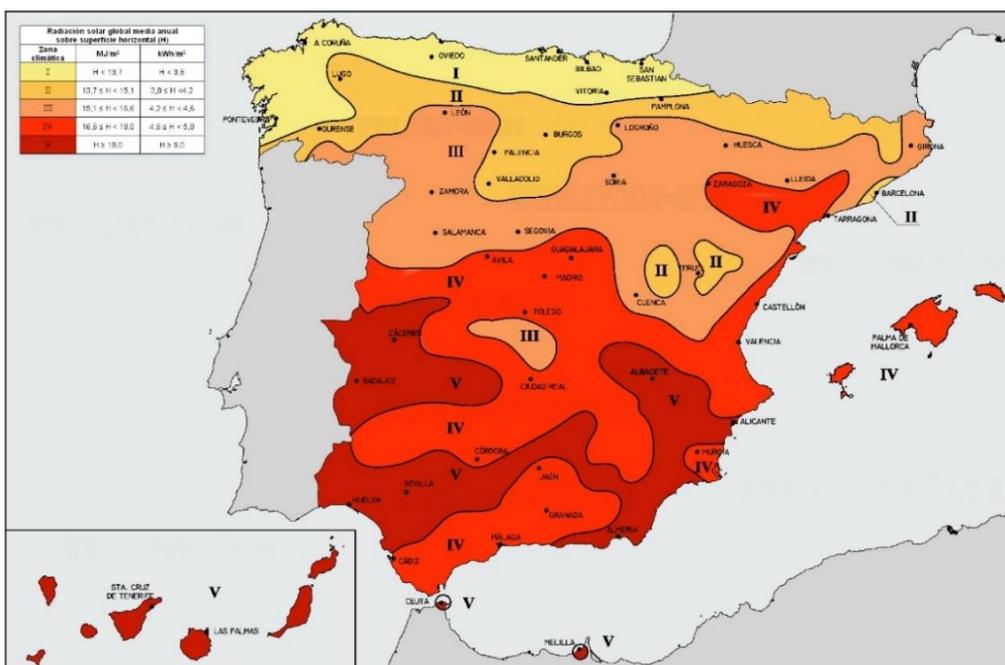
Instalación solar fotovoltaica

A continuación, se muestra un diagrama de los componentes de la instalación solar fotovoltaica.



Ubicación de la vivienda

El pasado año, se instauró el primer “campo de refugiados temporal” improvisado en Algeciras, debido a la gran cantidad de inmigrantes que llegaron de África cruzando el mar Mediterráneo. Este campamento improvisado cuenta con unas condiciones deplorables y además no dan abasto con la cantidad de gente que sigue llegando. Por otro lado, Algeciras es una de las regiones de España que cuenta con mayor radiación. Es por ello que se decide ubicar la vivienda en la urbanización Los Cortijos en Algeciras (Cádiz). Por otro lado, los consumos medios de una vivienda unifamiliar son más bajos en las zonas del Mediterráneo.



Características de la vivienda

- 4 ocupantes: un matrimonio con dos hijos

La vivienda tendrá dos plantas. Cada planta tendrá unas dimensiones de 4 metros x 10 metros. Cada planta tendrá una altura de 3 metros:

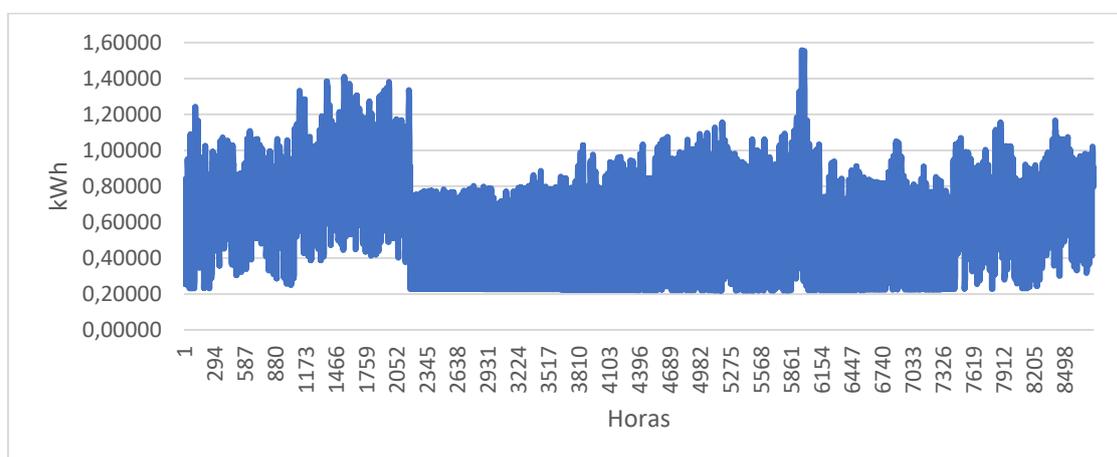
- Planta inferior: Salón, cocina y unas escaleras que conectan ambos pisos.
- Planta superior: 2 baños y 2 dormitorios y un pasillo.

Consumos de la vivienda

El consumo total anual es de 5801 kWh, dando lugar a una media de 0,66 kWh al día. Se ha de tener en cuenta que se ha simulado con los datos climatológicos del año 2016, que eran los últimos disponibles, y al ser año bisiesto cuenta con 366 días (sin el 29 de febrero el consumo anual es de 5781 kWh). Se puede apreciar que el mes con mayor consumo es marzo, llegando a consumirse 663,17 kWh. Sin embargo, el pico horario de demanda se produce en el mes de septiembre, concretamente el día 5 de septiembre, llegando a un consumo de 1,557 kWh. En las horas nocturnas de menor consumo se llega a los 0,219 kWh.

Los aparatos son el grupo que presentan un mayor consumo, llegando a representar un 55,73% del consumo total anual. Los consumos de la bomba de calor llegan a representar un total del 35% del consumo total anual (16,66% calefacción, 7,33% refrigeración y 11,01% ACS). Finalmente tenemos los consumos de iluminación y standby, que llegan tan solo al 3,69% y 5,57% respectivamente del consumo anual.

	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Aparatos		Standby		Total kWh
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Enero	154,73	28,70%	0,00	0,00%	58,35	10,82%	24,80	4,60%	273,92	50,80%	27,39	5,08%	539,19
Febrero	193,40	35,11%	0,00	0,00%	54,58	9,91%	20,90	3,79%	256,25	46,53%	25,62	4,65%	550,75
Marzo	286,12	43,14%	0,00	0,00%	57,13	8,61%	18,60	2,80%	273,92	41,31%	27,39	4,13%	663,17
Abril	0,00	0,00%	23,37	6,09%	54,11	14,11%	14,50	3,78%	265,08	69,11%	26,51	6,91%	383,58
Mayo	0,00	0,00%	33,53	8,37%	53,48	13,35%	12,40	3,09%	273,92	68,36%	27,39	6,84%	400,73
Junio	0,00	0,00%	62,48	15,04%	49,41	11,89%	12,00	2,89%	265,08	63,80%	26,51	6,38%	415,48
Julio	0,00	0,00%	102,00	21,91%	49,84	10,71%	12,40	2,66%	273,92	58,84%	27,39	5,88%	465,55
Agosto	0,00	0,00%	107,28	22,83%	48,62	10,35%	12,60	2,68%	273,92	58,30%	27,39	5,83%	469,81
Septiembre	0,00	0,00%	96,45	21,26%	48,23	10,63%	17,50	3,86%	265,08	58,42%	26,51	5,84%	453,77
Octubre	56,11	13,03%	0,00	0,00%	52,27	12,14%	20,90	4,85%	273,92	63,62%	27,39	6,36%	430,59
Noviembre	127,96	25,77%	0,00	0,00%	54,11	10,90%	22,90	4,61%	265,08	53,38%	26,51	5,34%	496,57
Diciembre	147,94	27,79%	0,00	0,00%	58,35	10,96%	24,80	4,66%	273,92	51,45%	27,39	5,14%	532,40
Anual	966,27	16,66%	425,11	7,33%	638,48	11,01%	214,30	3,69%	3234,03	55,74%	323,40	5,57%	5801,59



Instalación solar fotovoltaica

- Metodología: Se ha utilizado el programa PVsyst 6.7.3.
- Equipos:
 - 14 módulos (7 *strings* de 2 módulos) CS3W-405P HE (Canadian Solar)
 - 1 regulador VarioTrack VT80 – 48 V
 - 24 baterías 2V Enersol T250
 - 1 inversor Sunny Island 8.0H
 - 1 cuadro de agrupación 8 STRINGS STC8 100 A
 - 1 estructura fija inclinada 2V FV325-FV925XL. Tilt 55°, azimut 0°.
 - Cableado PV ZZ-F/H1Z2Z2-K (tramo de continua)
 - Cableado 0,6/1 kV RV-K (XLPE) (tramo de alterna)
- Resultados:
 - 3 días de autonomía, 1 % LOL, tensión baterías 48 V
 - Potencia pico = 5,67 kWp
 - Potencia nominal = 5 kWn
 - Capacidad baterías (C_{10}) = 1570 Ah
 - Energía faltante = 0 kWh
 - Energía producida = 9,201 MWh
 - Energía excedente = 3,17 MWh
 - Factor de rendimiento = 51,80 %

Análisis económico

- Inversión: El presupuesto material representa el 95% de la inversión y se añade un 5% de mano de obra de instalación. Inversión total de 20.030,15 €
- Coste 3,53 €/Wp.
- Ahorros de factura: Se ha asumido una factura fija durante los próximos 20 años de una compañía eléctrica de referencia. Se ha tenido en cuenta los peajes de acceso y los impuestos.
- TIR: Se han realizado los flujos de caja de los primeros 20 años, que es la vida útil aproximada de este tipo de instalaciones. Teniendo en cuenta la inversión del año 0, los ahorros de energía de los 20 años, y que se asume que los gastos de mantenimiento son nulos se obtiene un TIR de 6%
- El periodo de retorno equivale a 11,5 años.
- El coste de generación de la instalación (LCOE), asumiendo una tasa de descuento de 0% por ser un proyecto social, es de 0,173 €/kWh. Este valor está dentro del rango estimado por el último informe de Lazard. El rango de LCOE para esta la tecnología solar fotovoltaica en tejado ronda entre los 0,136 €/kWh y los 0,217 €/kWh.

Balance energético

Considerando el último informe sobre producción de electricidad y emisiones del año 2017 elaborado por Red Eléctrica de España (REE), el factor de emisiones de CO₂ es 0,213 g CO₂/kWh. Con ello se estima que se ahorra un total de 1,2 toneladas de CO₂ a año y 24,6 toneladas de CO₂ en la vida útil del proyecto.

Conclusiones

- Se ha obtenido un sistema optimizado que cubre toda la demanda horaria del año. Sin embargo, esto ha supuesto un claro sobredimensionamiento para los meses de verano, lo cual ha hecho que se tenga una eficiencia de tan solo el 52%, llegando a desechar 3,71 MWh al año, del total de los 9,71 MWh generados.
- El ángulo de tilt que resulta óptimo no es el que permite la mayor producción anual en nuestro caso, sino el que permite producir una mayor cantidad de energía en la época que se combina la mayor demanda con un bajo recurso disponible, siendo este caso la época de invierno.
- Se aprecia claramente que a medida que el precio de las baterías se vaya reduciendo, tal como lo ha hecho el precio de los módulos, estos sistemas serán mucho más atractivos para el uso residencial.
- Otro de los grandes atractivos de estos sistemas hoy en día, es que apenas necesitan mantenimiento y tienen una vida útil considerablemente larga, lo cual es idóneo para que tanto los huéspedes, como las organizaciones que financien estos proyectos no tengan que preocuparse por un coste considerable durante la vida útil del sistema.
- Se han encontrado equipos a bastante buen precio en los mercados online que han supuesto un coste 3,53 €/Wp, lo cual está ligeramente por debajo de la media (entre 4 y 8 €/Wp)
- El análisis económico ha mostrado un valor positivo de TIR (6%) y un periodo de retorno inferior a la vida útil del proyecto (11,5 años). Esto indica que la inversión resulta rentable. Una de las razones por las que sale tan rentable es porque el ahorro no es solo por la potencia instalada y la energía consumida, sino porque se evitan los costes de peajes de acceso e impuestos.
- Es cierto que se ha utilizado un tipo de tarifa que es fijo y que se asume que será igual para los próximos 20 años. Según la evolución de los precios de la electricidad, el estado regulará estas tarifas, lo cual puede hacer que el proyecto salga más o menos rentable de lo estimado actualmente. Si se hubiese asumido una tarifa diferenciada con varios tramos, posiblemente los ahorros serían menores, reduciendo la rentabilidad del proyecto. Esto podría ser objeto de un futuro estudio.
- Gracias a este proyecto se evita una gran cantidad de emisiones de GEI. Hasta un total de 1,2 toneladas de CO₂ anuales. Y esto teniendo en cuenta que solo se consideran los gases evitados del sector eléctrico. Tampoco se aportan emisiones que podrían existir si la vivienda tuviera consumos a partir de la quema de gas, como pueden ser las calderas o cocinas antiguas.

DESIGN OF A SELF-SUFFICIENT HOUSEHOLD IN SPAIN

ABSTRACT

The project consists of the design of an off-grid household, for 4 people (2 parents and 2 children), who have been displaced from their hometown. This house will be only supplied by renewable energy to reduce the environmental impact.

Objectives

- To define a home designed for 4 people that is not connected to the grid (self-consumption).
- The energy used to meet the demand comes only from renewable sources. There won't be any diesel generator (back up).
- All types of consumption must be supplied with electricity, eliminating the need for using gas (such as heating/AC or water heating), thus reducing the environmental impact.
- To meet the total hourly demand of the whole year.
- To obtain a positive internal rate of return (IRR) in 20 years.
- To recover the investment of the project in less than 20 years.

Motivation

- Migration crisis: Currently, one of the greatest disasters that humanity has to deal with is the large number of people around the planet who are forced to leave their homes for different reasons (climate change, wars, poverty...). Many of those displaced people are forced to live in refugee camps, where the living conditions are quite awful. That is why the house of the project is aimed to a family that can be accommodated in the national territory.
- Environmental crisis: On the other hand, the world needs to face global warming and the future shortage of fossil fuels. Fortunately, the global trend indicates that many countries are shifting to greener technologies. One of the sectors with a great impact worldwide is the residential one, so it is interesting that this sector continues with the same trend.
- I am currently working at the company Circle Energy and Development S.L., where we develop photovoltaic solar plants and provide consulting services related to this technology. That is why I am interested in renewable energies, especially in self-consumption with solar photovoltaic technology. It is expected that this technology will have a great penetration in the coming years thanks to the new Royal Decree 244/2019, April 5, that establishes the technical-economic and administrative regulation of self-consumption, which will promote self-consumption both in the residential and industrial sector.

Methodology

- After explaining the current situation of the migration and environmental crisis, the technology used to meet the demand will be described.

- Next, the dimensions of the housing will be defined, along with the location of the same. This location will be selected taking into account the origin of the people displaced to Spain and the location of the available renewable resources.
- Subsequently, the hourly consumption profile will be estimated.
- The software PVsyst 6.7. will be used to size the generation and storage facility to meet demand, trying to reduce the economic cost to the maximum.
- An economic analysis will be carried out, estimating the investment cost of the installation and the savings generated for not having an electricity bill. With these data it will be possible to estimate the economic profitability of the project.
- The following section will include an analysis of greenhouse gas (GHG) emissions avoided for not consuming the electricity from the grid.
- Finally, there will be a chapter of conclusions about the results obtained from the production and economic analysis.
- Additionally, three annexes will be added: the first one with the distribution of the hourly consumption of each month. The second one with drawings of the house and a third annex with the technical documentation of the equipment used.

State of the art

- **Migration crisis:** According to the data collected by UNHCR (United Nations High Commissioner for Refugees) the number of displaced people worldwide amounts to 68.5 million people, of which 25.4 million are refugees. Regarding the situation in Europe, the vast majority of immigrants come from Africa, the Middle East, South Asia and the Western Balkans. The main immigrants arriving to Spain are from Africa. In 2017, Spain had 31.120 asylum applications. Currently, more than 2.6 million people live in refugee camps worldwide.
- **Environmental crisis:** According to the Internal Displacement Monitoring Center, 22.5 million people have been displaced by weather disasters from 2008 to 2015. On the other hand, buildings are the cause of 1/3 of CO₂ emissions worldwide. In 2017, in Spain, buildings represented 8% of total emissions, of which 58% came from the residential sector. The same year, the electricity generating sector was the second largest producer of GHGs, accounting for 20% of total emissions. Carbon dioxide (CO₂) is the major GHGs, representing about 80% of the total GHGs.
- **Self-consumption in Spain:** Spain was a pioneer in the development of photovoltaic solar plants during 2008, however, the economic crisis resulted in greater regulation in the sector, which severely affected residential self-consumption. Numerous tolls and the well-known "sun tax" were introduced. Fortunately, the approval of the Royal Decree 244/2019, April 5th, which regulates the administrative, technical and economic conditions of self-consumption of electric energy is believed to turn around the situation. This decree aims to promote the installation of self-consumption generation by eliminating tariffs and the rest of administrative and economic obstacles that had slowed the penetration of self-consumption in the country. Within the existing modalities, the housing will be considered individual consumer without surpluses, since it will be off grid.

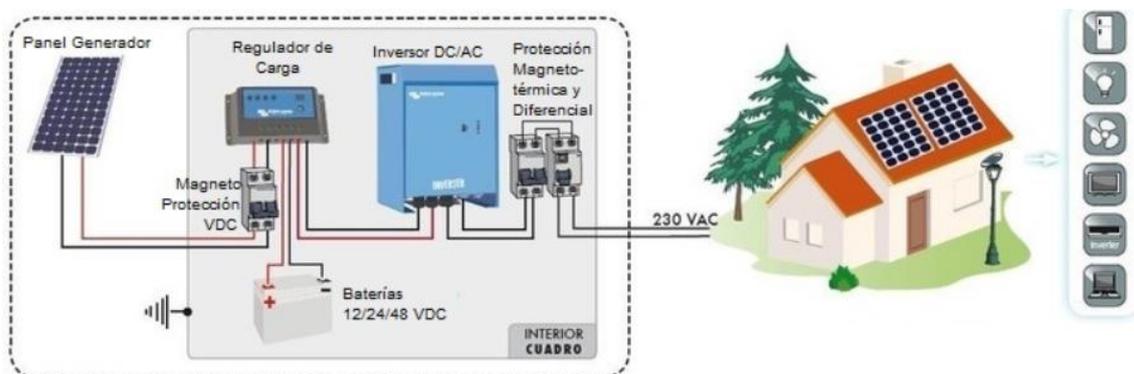
Photovoltaic solar energy

The energy consumption of the house will be produced through photovoltaic solar energy. This technology transforms solar radiation into electricity by the principle of the photoelectric effect. The main reasons for choosing this technology are:

- It is the renewable technology that has suffered the greatest decrease in price in the last decade. The cost of generation has been reduced by 80% since 2008.
- Unlike other renewable technologies in residential self-consumption, this one directly generates electricity. There is no need to transform heat into electricity, as it happens with solar thermal or geothermal energy.
- Spain has a huge amount of solar resource available in almost all the national territory.
- It is a technology with a very low level of maintenance.
- The energy return (ratio between energy produced and energy used to develop this activity) is around 1 to 2 years in the Spanish territory.
- It has a bigger reduction of GHG emissions compared to other technologies. It is estimated that a small-scale solar photovoltaic installation generates at least 20 times less CO₂ emissions than a coal-fired power plant to produce the same amount of energy.
- The solar energy sector is the largest contributor to job creation worldwide.

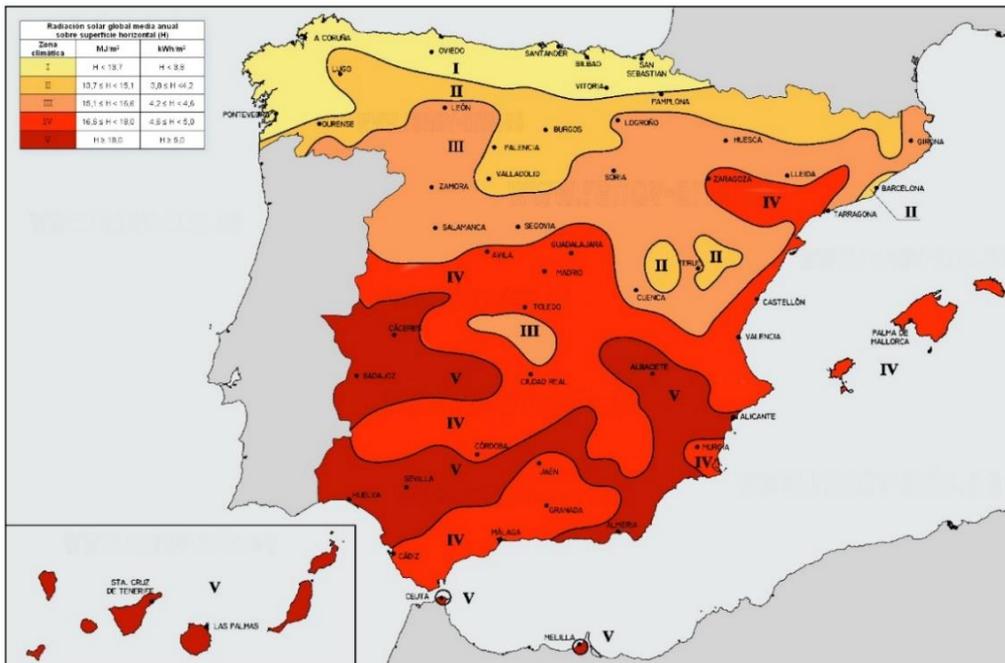
Photovoltaic solar system

A scheme of the photovoltaic solar system for residential purposes is shown in the following picture.



Location of the household

Last year, the first improvised "temporary refugee camp" was set up in Algeciras, due to the large number of immigrants who arrived from Africa across the Mediterranean Sea. The conditions in this makeshift camp are deplorable, and they cannot cope with the number of people who continue to arrive. On the other hand, Algeciras is one of the regions in Spain with abundant radiation. That is why it has been decided to locate the household in the urbanization Los Cortijillos, in Algeciras (Cádiz). Moreover, the average consumption of a single-family home is lower in the Mediterranean areas.



Household description

- 4 people: two adults and two children

The house dimensions will be 40 meters (width) x 10 meters (depth) x 3 meters (height) for each floor. There will be a total of two floor with the following distribution:

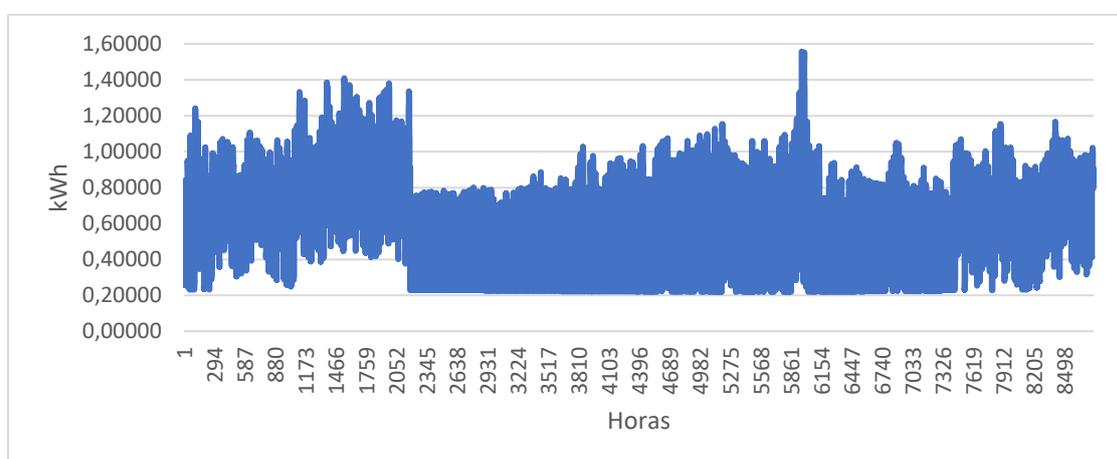
- Lower floor: Living room, kitchen and stairs that connect both floors.
- Upper floor: 2 bathrooms, 2 bedrooms and an aisle.

Consumption profile

Total annual consumption is 5801 kWh, resulting in an average of 0,66 kWh per day. It must be taken into account that it has been simulated with the climatological data of 2016, which were the last year available, and as it is a leap year it has 366 days (without February 29th the annual consumption is 5781 kWh). The month with the highest consumption is March, with a total consumption of 663,17 kWh. However, the hourly peak of demand occurs in the month of September, specifically on September 5th, reaching a consumption of 1.557 kWh. During the night hours, where consumption is lower, the total energy demand reaches 0,219 kWh.

The appliances are the group with the highest consumption level, representing 55,73% of the total annual consumption. Heat pump consumption represents a 35% of total annual consumption (16,66% heating, 7,33% cooling and 11,01% DHW). Finally, we have the consumption of lighting and standby, which reach only a 3,69% and a 5.57% of annual consumption each.

	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Aparatos		Standby		Total kWh
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	
Enero	154,73	28,70%	0,00	0,00%	58,35	10,82%	24,80	4,60%	273,92	50,80%	27,39	5,08%	539,19
Febrero	193,40	35,11%	0,00	0,00%	54,58	9,91%	20,90	3,79%	256,25	46,53%	25,62	4,65%	550,75
Marzo	286,12	43,14%	0,00	0,00%	57,13	8,61%	18,60	2,80%	273,92	41,31%	27,39	4,13%	663,17
Abril	0,00	0,00%	23,37	6,09%	54,11	14,11%	14,50	3,78%	265,08	69,11%	26,51	6,91%	383,58
Mayo	0,00	0,00%	33,53	8,37%	53,48	13,35%	12,40	3,09%	273,92	68,36%	27,39	6,84%	400,73
Junio	0,00	0,00%	62,48	15,04%	49,41	11,89%	12,00	2,89%	265,08	63,80%	26,51	6,38%	415,48
Julio	0,00	0,00%	102,00	21,91%	49,84	10,71%	12,40	2,66%	273,92	58,84%	27,39	5,88%	465,55
Agosto	0,00	0,00%	107,28	22,83%	48,62	10,35%	12,60	2,68%	273,92	58,30%	27,39	5,83%	469,81
Septiembre	0,00	0,00%	96,45	21,26%	48,23	10,63%	17,50	3,86%	265,08	58,42%	26,51	5,84%	453,77
Octubre	56,11	13,03%	0,00	0,00%	52,27	12,14%	20,90	4,85%	273,92	63,62%	27,39	6,36%	430,59
Noviembre	127,96	25,77%	0,00	0,00%	54,11	10,90%	22,90	4,61%	265,08	53,38%	26,51	5,34%	496,57
Diciembre	147,94	27,79%	0,00	0,00%	58,35	10,96%	24,80	4,66%	273,92	51,45%	27,39	5,14%	532,40
Annual	966,27	16,66%	425,11	7,33%	638,48	11,01%	214,30	3,69%	3234,03	55,74%	323,40	5,57%	5801,59



Photovoltaic solar system

- Methodology: The PVsyst 6.4 software has been used to size the system
- Components:
 - 14 modules (7 strings of 2 modules) CS3W-405P HE (Canadian Solar)
 - 1 VarioTrack VT80 - 48 V controller
 - 24 2V Enersol T250 batteries
 - 1 Sunny Island 8.0H inverter
 - 1 grouping box 8 STRINGS STC8 100 A
 - 1 inclined fixed structure 2V FV325-FV925XL. Tilt 55°, azimuth 0°.

- ZZ-F/H1Z2Z2-K PV cable (DC section)
- 0.6/1 kV RV-K (XLPE) cable (AC section)
- Results:
 - 3 days of autonomy, 1% LOL, battery voltage 48 V
 - Peak power = 5,67 kWp
 - Rated power = 5 kWn
 - Battery capacity (C_{10}) = 1570 Ah
 - Missing energy = 0 kWh
 - Energy produced = 9,201 MWh
 - Surplus energy = 3,17 MWh
 - Yield factor = 51,80%

Economic analysis

- Investment: The material budget represents 95% of the investment and while the labor installation represents the remaining 5%. Total investment of 20.030,15 €
- Cost 3,53 €/Wp.
- Bill savings: A fixed bill for the next 20 years has been assumed from a well-known electric company. Access tolls and taxes have been taken into account.
- IRR: The cash flows of the first 20 years have been estimated, which is the approximate useful life of this type of facility. Taking into account the investment of year 0, the energy savings of the next 20 years, and the assumption that maintenance costs are zero, an IRR of 6% is obtained.
- The return period is equivalent to 11,5 years.
- The levelized cost of energy (LCOE), assuming a discount rate of 0% because it is a social project, is 0,173 €/kWh. This value is within the range estimated by the last Lazard report. The LCOE range for rooftop solar photovoltaic technology is between 0,36 euros/kWh and 0,217 euros/kWh.

Emission analysis

Considering the latest report on electricity production and emissions for 2017 prepared by Red Eléctrica de España (REE), the CO₂ emission factor is 0,213 g CO₂/kWh. With this ratio, it is estimated that a total of 1,2 tons of CO₂ are avoided per year and 24,6 tons of CO₂ during the project's life cycle.

Conclusions

- An optimized system has been obtained that covers all the hourly demand of the year. However, this has meant a clear over-sizing for the summer months, which has resulted in an efficiency of only 52%. Out of the total 9,71 MWh generated, 3,71 MWh were not used.
- The optimal tilt angle is not the one that allows the highest annual production, but the one that allows producing a greater amount of energy in the season that combines the highest demand with the lowest available resource, being this the winter season.
- It is clear that as the price of the batteries decrease, these systems will be much more attractive for residential use.

- Another major attraction of these systems today is that they require little maintenance and have a considerably long life, which is ideal so that both guests and organizations that finance these projects do not have to worry about a considerable cost over the life usage of the system.
- Equipment has been found at a fairly good price in the online markets at a cost of 3,53 EUR/Wp, which is slightly below the average (between 4 and 8 €/Wp)
- The economic analysis has shown a positive IRR value (6%) and a return period less than the project's lifetime (11,5 years). This indicates that the investment is profitable. One of the reasons why it is so profitable is because the savings are not only for the installed power and energy consumed payments, but also because the savings of access tolls and taxes.
- It is true that a fixed tariff has been assumed for the next 20 years. Depending on the evolution of electricity prices, the state will regulate these tariffs, which may make the project more or less profitable than currently estimated. If a differentiated tariff with several tranches had been assumed, possibly the savings would be lower, reducing the profitability of the project. This could be the subject of a future study.
- A large amount of GHG emissions are avoided thanks to this project. Up to a total of 1,2 tons of CO₂ per year. And this is only taking into account the GHG related to electricity generation. Emissions that could exist if the house had old boilers or stoves, are not included either.

ÍNDICE

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
Objetivos	1
Motivación	1
Metodología	1
ESTADO DEL ARTE	3
Crisis migratoria	3
Emisiones del sector inmobiliario y el sector eléctrico	5
Marco normativo	6
Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030	6
Real Decreto 244/2019, 5 de abril [6]	7
Energía solar fotovoltaica.....	9
Evolución de costes	9
Tasa de retorno energético	10
Reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI)	11
Creación de puestos de trabajo	11
Equipos de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo [14]	11
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA AUTOSUFICIENTE.....	23
Ubicación.....	23
Ocupantes	25
Dimensiones de la vivienda.....	25
ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	27
Iluminación.....	27
Aparatos/electrodomésticos.....	28
Calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (ACS).....	28
Stand-by	34
Perfil de consumo.....	34
PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA.....	37
Software PVsyst 6.7.3.....	37
Lugar y meteo.....	37
Orientación.....	38
Necesidades de los usuarios	40
Sistema	41
Pérdidas detalladas	48
Perfil de obstáculos	51

Sombras cercanas.....	51
Evaluación económica.....	52
Simulación e informe	52
Dimensionamiento del cableado	56
Tipo de cableado	56
Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento.	56
Criterio de la caída de tensión máxima	57
Criterio de la intensidad de cortocircuito	57
Secciones de los tramos del cableado.....	58
ANÁLISIS FINANCIERO	59
Presupuesto de la instalación	59
Coste del Wp	60
Tasa interna de retorno (TIR)	60
Periodo de retorno.....	61
Coste nivelado de electricidad (LCOE)	61
BALANCE ENERGÉTICO	63
CONCLUSIONES	65
ALIENACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) DE NACIONES UNIDAS.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXO 1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE CONSUMO	73
ANEXO 2. PLANOS	87
ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Situación de la crisis migratoria en Europa en 2015. [2].....	4
Ilustración 2. Evolución de las solicitudes de asilo [3]	4
Ilustración 3. Número total de nuevos desplazamientos debido a conflictos y violencia (a partir de 2003) y desastres (a partir de 2008). [4]	5
Ilustración 4. Emisiones por sector (izquierda) y por gas (derecha) en 2017 [5].....	5
Ilustración 5. LCOE Global de las tecnologías renovables de generación a gran escala [9].....	9
Ilustración 6. Evolución de costes tecnología solar FV.....	10
Ilustración 7. Tasa de retorno energético para un sistema instalado en tejado con paneles de silicio policristalino [11].....	10
Ilustración 8. Creación de puestos de trabajo por tecnología a nivel mundial [13]	11
Ilustración 9. Componentes de un panel solar [15]	11
Ilustración 10. Conexión de los polos de las celdas solares [16].....	12
Ilustración 11. Efecto de la sombra en paneles solares [16].....	12
Ilustración 12. Efecto de las sombras en el rendimiento de los paneles solares [16]	13
Ilustración 13. Celda fotovoltaica [17]	13
Ilustración 14. Semiconductores tipo N y tipo P [19].....	14
Ilustración 15. Unión P-N [20].....	14
Ilustración 16. Curva I-V para una temperatura constante	15
Ilustración 17. Curva I-V para una irradiación solar constante	15
Ilustración 18. Curvas P-V y V-I para cálculo del punto de máxima potencia (P_{mp}) [21].....	16
Ilustración 19. Evolución de las placas solares [23]	16
Ilustración 20. Estructura fija para paneles solares [24].....	17
Ilustración 21. Rendimiento promedio de un panel según inclinación y orientación [25]	17
Ilustración 22. Cálculo de distancia entre filas de paneles solares [26].....	18
Ilustración 23. Regulador de carga [27]	18
Ilustración 24. Inversor [26]	19
Ilustración 25. Asociaciones de baterías [14].....	21
Ilustración 26. Ubicación de la vivienda (1)	23
Ilustración 27. Ubicación de la vivienda (2)	24
Ilustración 28. Mapa de radiación solar anual de España [24]	24
Ilustración 29. Instalación con paneles solares y bomba de calor [40].....	30
Ilustración 30. Ciclo de calefacción y refrigeración de una bomba de calor [41]	30
Ilustración 31. Comparativa entre sistemas de generación ACS [42]	31
Ilustración 32. Demanda total horaria	36
Ilustración 33. Interfaz del diseño de proyecto aislado de la red	37
Ilustración 34. Ángulo de optimización de producción en verano	39
Ilustración 35. Ángulo de optimización de producción en invierno	39
Ilustración 36. Ángulo de optimización de producción anual	40
Ilustración 37. Tipos de perfiles de consumo.....	40
Ilustración 38. Selección del módulo fotovoltaico y el regulador de carga	42
Ilustración 39. Estructura fija inclinada 2V FV325-FV925XL [47]	44
Ilustración 40. Selección del equipo de almacenamiento	45
Ilustración 41. Selección del grupo electrógeno.....	46
Ilustración 42. Esquema de la instalación solar fotovoltaica	46
Ilustración 43. Pérdidas térmicas	48
Ilustración 44. Pérdidas óhmicas	49

Ilustración 45. Pérdidas por calidad de módulos, LID y mismatch	50
Ilustración 46. Pérdidas por polvo y suciedad	50
Ilustración 47. Pérdidas por IAM.....	51
Ilustración 48. Perfil de obstáculos plano inclinado fijo: tilt 55º, acimut 0º.....	51
Ilustración 49. Resultados de la simulación para la instalación solar de 5,60 kWp tilt 55º.....	53
Ilustración 50. Resultados de la simulación para la instalación solar de 5,67 kWp tilt 55º.....	54
Ilustración 51. Diagrama de pérdidas para la instalación solar de 5,67 kWp tilt 55º.....	55
Ilustración 52. LCOE para distintas tecnologías [54].....	62
Ilustración 53. Distribución del consumo horario en enero	74
Ilustración 54. Distribución del consumo horario en febrero.....	75
Ilustración 55. Distribución del consumo horario en marzo.....	76
Ilustración 56. Distribución del consumo horario en abril.....	77
Ilustración 57. Distribución del consumo horario en mayo	78
Ilustración 58. Distribución del consumo horario en junio.....	79
Ilustración 59. Distribución del consumo horario en julio	80
Ilustración 60. Distribución del consumo horario en agosto	81
Ilustración 61. Distribución del consumo horario en septiembre	82
Ilustración 62. Distribución del consumo horario en octubre	83
Ilustración 63. Distribución del consumo horario en noviembre	84
Ilustración 64. Distribución del consumo horario en diciembre.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parque de generación del Escenario Objetivo (MW) [6]	7
Tabla 2. Tensión de trabajo de las baterías según la potencia de la instalación	20
Tabla 3. Consumos promedio según vivienda y ubicación [32]	25
Tabla 4. Potencia recomendada para iluminación por zona	27
Tabla 5. Consumo de electrodomésticos	28
Tabla 6. Consumo total, renovable y no renovable para los distintos casos [37]	29
Tabla 7. Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción de referencia a partir de la severidad climática invierno en edificios destinados a viviendas [34]	31
Tabla 8. Coeficientes de correlación para la demanda de refrigeración de referencia a partir de la severidad climática verano en edificios destinados a viviendas [34]	31
Tabla 9. Coeficientes correlación severidad climática invierno. (Fuente: [CTE-HE08])	32
Tabla 10. Coeficientes correlación severidad climática verano. (Fuente: [CTE-HE08])	32
Tabla 11. Distribución de consumo mensual	35
Tabla 12. Ubicación de la vivienda	38
Tabla 13. Irradiación y temperatura del centro metereológico de Algeciras	38
Tabla 14. Características principales del módulo CS3W-405P HE	43
Tabla 15. Características principales del regulador de carga VarioTrack VT80 - 48 V	43
Tabla 16. Características principales cuadro de agrupación STC8 100 A	44
Tabla 17. Características principales de la batería 2V VRLA-GEL BAE SECURA OPzV 1375	46
Tabla 18. Estimación de potencia total de la vivienda	47
Tabla 19. Características principales inversor Sunny Island 8.0H	47
Tabla 20. Cálculo de la sección de cableado por el criterio de caída de tensión	57
Tabla 21. Selección del cableado instalación solar fotovoltaico	58
Tabla 22. Presupuesto equipos instalación solar fotovoltaica	59
Tabla 23. Presupuesto cableado instalación solar fotovoltaica	59
Tabla 24. Inversión total de la instalación	60
Tabla 25. Flujos de caja y flujo acumulado del proyecto	61

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es diseñar una vivienda autosuficiente con un espacio reducido, capaz de proporcionar las necesidades mínimas a individuos o familias que hayan sido desplazadas de sus hogares por distintas razones, como pueden ser refugiados o personas que hayan sufrido alguna catástrofe natural. Dicha vivienda, aislada de la red, se sustentará únicamente por fuentes renovables con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se va a considerar cuál es la ubicación óptima para la vivienda teniendo en cuenta el origen de las personas desplazadas a España y considerando también cómo aprovechar las fuentes renovables del territorio español. Tras realizar el diseño de la instalación que va a producir la energía demandada por la vivienda, se realizará un estudio económico y medioambiental para ver la viabilidad del proyecto.

Objetivos

Los principales objetivos del proyecto serán los siguientes:

- Desarrollo de una vivienda para 4 personas, aislada de la red (sin excedentes).
- Autoconsumo sólo a partir de fuentes renovables.
- Que todos los consumos sean abastecidos con electricidad, eliminando la necesidad de la contratación de gas, reduciendo así el impacto ambiental.
- Abastecimiento total de la demanda horaria.
- Obtener una tasa interna de retorno (TIR) positiva en 20 años.
- Tener un periodo de retorno menor de 20 años.

Motivación

Las diferentes motivaciones por las que he decidido desarrollar este proyecto se resumen en los siguientes puntos:

- Una de las claras tendencias en la lucha contra el cambio climático es la transición a las fuentes renovables. Es por ello el interés en trabajar en un proyecto que puede contar con energías renovables.
- Actualmente, la crisis migratoria y las diferentes catástrofes que están dejando a numerosas familias sin viviendas indica que existe una clara necesidad para desarrollar viviendas de carácter social, procurando tener el menor impacto medioambiental.
- Actualmente estoy trabajando en una empresa de energía solar, por lo que me interesa realizar un caso sobre autoconsumo.
- El nuevo marco regulatorio sobre autoconsumo en España va a fomentar considerablemente este tipo de proyectos, lo cual indica que es un caso que puede llevarse a la vida real.

Metodología

A continuación, se presentarán los distintos apartados que conllevará el proyecto:

1. **Estado del arte:** Situación actual de la crisis migratoria y los efectos del cambio climático en dicha crisis. Contextualización sobre el impacto medioambiental del sector residencial y eléctrico en España, así como un resumen de la normativa que está marcando las políticas de autoconsumo y lucha contra el cambio climático. Se explicará en detalle la tecnología utilizada para suplir la demanda de la vivienda objeto y los motivos de su elección.

2. **Características de la vivienda:** Se indicará la ubicación de la vivienda teniendo en cuenta que zonas son más afectadas por la crisis migratoria en España y que lugares tienen abundantes recursos renovables para cubrir la demanda energética. Después se describirá el dimensionamiento y los componentes de la vivienda, teniendo en cuenta los ocupantes y los requisitos mínimos de habitabilidad.
3. **Estimación de la demanda energética:** Se hará una estimación de los consumos energéticos de la vivienda y con ello se obtendrá el perfil de consumo horario de todo el año.
4. **Producción de la energía:** Se utilizará el programa PVsyst para el dimensionamiento de los equipos de producción y almacenamiento de energía, intentando minimizar al máximo la inversión a la par que se cumplen los objetivos establecidos.
5. **Análisis económico:** Cálculo de la inversión de la instalación completa para producir la energía y el ahorro económico que supondrá al no contratar una factura eléctrica. De esta manera se evaluará la rentabilidad del proyecto con diferentes indicadores económicos.
6. **Balance energético:** se hará una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero que se evitan al no consumir energía eléctrica de la red.
7. **Conclusiones:** Se comentarán los resultados obtenidos del diseño de la instalación, la cobertura de la demanda, el análisis económico y el balance energético para indicar si tiene sentido la inversión de este proyecto o no.
8. **Bibliografía**
9. **Anexos:** perfiles horarios del consumo, planos de la vivienda y las fichas técnicas de los equipos elegidos para la instalación de producción.

ESTADO DEL ARTE

Crisis migratoria

Actualmente, una de las mayores crisis humanitarias es el gran número de personas que han tenido que huir de sus viviendas debido a conflictos bélicos, pobreza, persecución, cambio climático o violaciones de los derechos humanos. Según las estadísticas recopiladas por el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR) [1], la cifra a nivel mundial asciende hasta los 68,5 millones de personas, de las cuales 25,4 millones son refugiados, siendo más de la mitad menores de 18 años. Además, se estima que hay en torno a 10 millones de personas apátridas, las cuales no tienen una nacionalidad ni acceso a derechos básicos.

En cuanto a la situación en Europa, la gran mayoría de inmigrantes provienen de África, Oriente medio, sur de Asia y Balcanes occidentales (Ilustración 1). En el año 2015, 1 de cada 3 refugiados provenía de Siria, Iraq y Afganistán [1]. El país de la Unión Europea (UE) que más refugiados ha recibido ha sido Alemania.

En la Ilustración 2 se muestra la evolución de solicitudes a lo largo de los últimos años en España y en la UE. Los principales inmigrantes que llegan a España son de origen africano, cruzando la mayoría de forma ilegal el mar Mediterráneo. Se puede apreciar como el número de solicitudes ha ido disminuyendo en la UE desde el año 2015, en parte por la firma de acuerdos entre distintos países y en otro lugar por el aumento del control de inmigrantes y las nuevas políticas nacionalistas que están surgiendo en países como Italia, Austria y Hungría.

Aquellas personas que han sido reconocidas como refugiadas y pueden entrar en un país de la UE tienen que ser garantizados unos determinados derechos y ayudas mínimas, entre los cuales destaca el derecho a la vivienda. Sin embargo, muchos de ellos son destinados a campamentos en los que las condiciones de vida son muy pobres. Actualmente, más 2,6 millones de personas viven en campamentos de refugiados en todo el mundo [1]. Es por ello por lo que existe la necesidad de crear viviendas con un bajo coste y que se instalen de forma rápida para poder mejorar su calidad de vida.

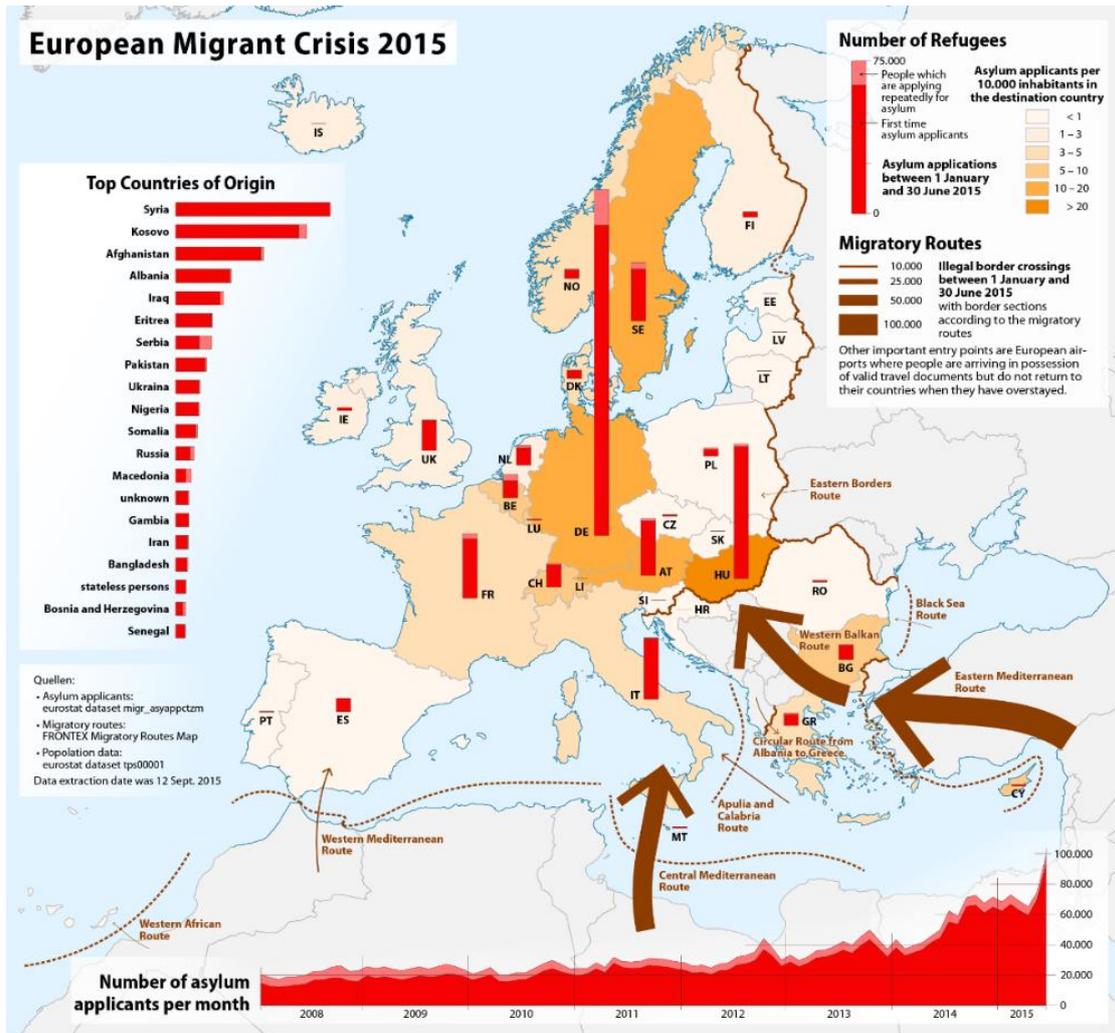


Ilustración 1. Situación de la crisis migratoria en Europa en 2015. [2]



Ilustración 2. Evolución de las solicitudes de asilo [3]

Una de las principales consecuencias del cambio climático es el incremento de catástrofes naturales, como inundaciones e incendios en diferentes partes del globo, produciendo que muchas familias estén perdiendo sus viviendas (Ilustración 3). Según el Internal Displacement Monitoring Centre [4], 22,5 millones de personas han sido desplazadas por desastres climatológicos desde 2008 a 2015. Es por ello que se deben buscar soluciones con un mínimo o nulo impacto sobre el medio ambiente y que sean capaces de responder rápidamente a dichas catástrofes.

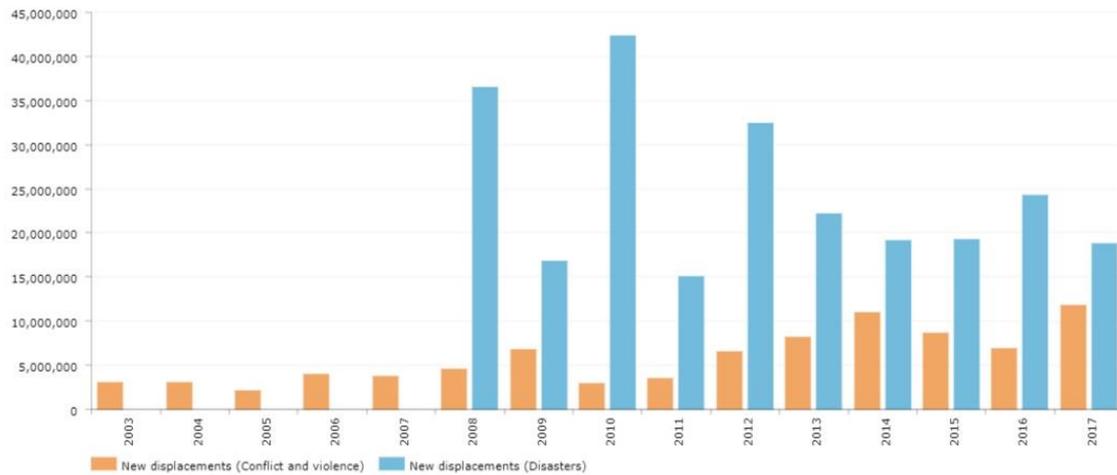


Ilustración 3. Número total de nuevos desplazamientos debido a conflictos y violencia (a partir de 2003) y desastres (a partir de 2008). [4]

Emisiones del sector inmobiliario y el sector eléctrico

En el año 2017 en España, el sector inmobiliario llegó a producir el 8% de las emisiones de GEI (58% el sector residencial y el 42% comercial e institucional) [5]. Estas emisiones se producen en gran parte a los sistemas de climatización y las cocinas, especialmente en las viviendas antiguas que aún se utilizan calderas y cocinas de gas. Por otro lado, el sector eléctrico supuso la generación del 20% del total de emisiones [5]. Estas emisiones se deben fundamentalmente a la combustión de carbón en centrales térmicas de carbón, y de gas natural de las centrales de ciclo combinado y cogeneración. De todas las emisiones, la que mayor impacto tiene en el cambio climático es el dióxido de carbono (CO₂), llegando a cubrir un 81% de todos los GEI [5].

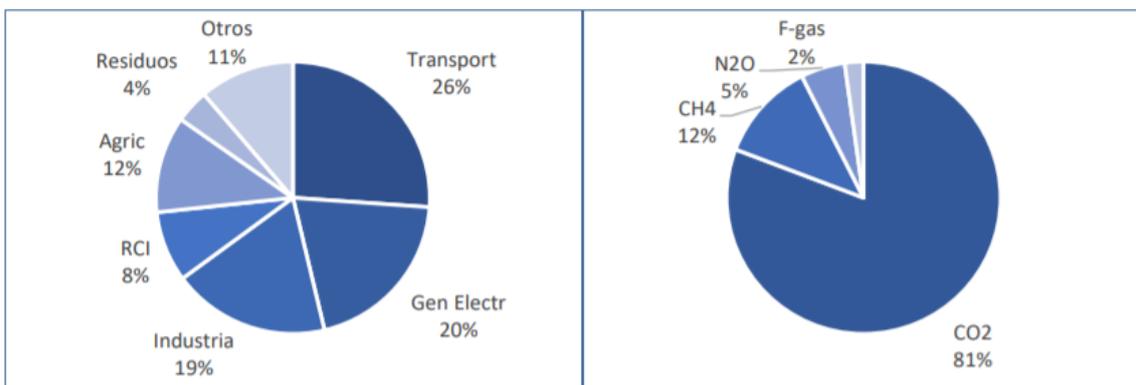


Ilustración 4. Emisiones por sector (izquierda) y por gas (derecha) en 2017 [5]

Marco normativo

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030

En el año de 2015, en la Conferencia sobre el Clima (COP21) de París, 195 países firmaron el primer acuerdo vinculante mundial sobre el clima, en el cual se estableció como objetivo principal no superar el incremento de 2°C la temperatura media mundial. En el año 2016 la Unión Europea (UE) ratificó el Acuerdo en octubre, lo que permitió su entrada en vigor en noviembre de ese año.

En el 2016, la Comisión Europea presentó el conocido “paquete de invierno” “Energía limpia para todos los europeos”, en el cual se indicaban los principales estrategias y recomendaciones que los países miembros deberían tomar para reducir las emisiones de GEI. Entre ellos incluían medidas de mejora de eficiencia energética, transición renovable, electrificación de consumos, seguridad de suministro y reglas de gobernanza para la Unión de la Energía. Los 4 principales objetivos de la UE fijados para el año 2030 son:

- Reducción del 40% de las emisiones de GEI respecto al año 1990.
- Que el 32% del consumo total de energía bruta provenga de fuentes renovables.
- Mejorar la eficiencia energética en un 32,5%.
- Llegar a un 15% de interconexión eléctrica entre los Estados miembros.

Adicionalmente se marcó como objetivo para el largo plazo, que la UE fuera neutra en carbono para el año 2050.

Con el mencionado “paquete de invierno”, la Comisión Europea ha exigido a todos los países miembros la elaboración de un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, en el que cada país va a indicar las medidas a tomar para contribuir en el alcance de los objetivos comunes de la UE.

En febrero de 2019 se presentó el borrador de PNIEC 2021-30 en el cual se recogen las principales políticas y estrategias que va a tener el país en el corto y medio plazo para combatir el cambio climático. Entre dichas estrategias, se mencionan algunas que tienen relación con el desarrollo de este proyecto:

- La transición energética hacia fuentes renovables es uno de los pilares base para la reducción de GEI. España en concreto es uno de los países más ambiciosos de la UE y cuenta con un gran potencial. En el año 2018 el 40% de la potencia instalada en España era de origen renovable, predominando la eólica e hidráulica. Para 2030 se espera que el mix energético esté compuesto por un 74% de fuentes renovables, siendo la solar fotovoltaica la segunda potencia renovable, llegando a tener casi 37 GW, tal como se puede ver en la Tabla 1 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- El gobierno va a fomentar el autoconsumo y la generación distribuida, volviendo a los ciudadanos agentes activos en la transición hacia un consumo de fuentes de origen renovable. Esto no solo reducirá las emisiones de GEI sino que permitirá una mayor flexibilidad de la generación y del consumo gracias a la incorporación de sistemas de almacenamiento, que suelen ser comunes en instalaciones de autoconsumo residencial. Una de las herramientas clave para el fomento de autoconsumo es el nuevo Real Decreto 244/2019, por el cual se pretende eliminar todas las trabas administrativas y económicas que surgieron al comienzo de la crisis del 2008, que frenaron de golpe la instalación de equipos de autoconsumo. Esta normativa será explicada más en detalle en la próxima sección.

- Habrá ayudas económicas en el sector residencial para mejorar la certificación energética de las viviendas, mejorando el aislamiento y así reduciendo el consumo de climatización. Por otra parte, se pretenden prestar ayudas para que los huéspedes compren electrodomésticos más eficientes, que consuman menos energía.
- La electrificación de los consumos de las viviendas será otra de las iniciativas que pretende implementar el gobierno con objeto de la quema de combustibles fósiles. Como se mencionaba anteriormente, muchas viviendas españolas aun cuentan con antiguos sistemas de calefacción basados en la quema de gas, los cuales están siendo reemplazados poco a poco por sistemas más eficientes o bombas de calor.

Año	2015	2020	2025	2030
Eólica	22.925	27.968	40.258	50.258
Solar fotovoltaica	4.854	8.409	23.404	36.882
Solar termoeléctrica	2.300	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	235	235	235
Geotérmica	0	0	15	30
Energías del mar	0	0	25	50
Biomasa	677	877	1.077	1.677
Carbón	11.311	10.524	4.532	0 – 1.300
Ciclo combinado	27.531	27.146	27.146	27.146
Cogeneración carbón	44	44	0	0
Cogeneración gas	4.055	4.001	3.373	3.000
Cogeneración productos petrolíferos	585	570	400	230
Fuel/Gas	2.790	2.790	2.441	2.093
Cogeneración renovable	535	491	491	491
Cogeneración con residuos	30	28	28	24
Residuos sólidos urbanos	234	234	234	234
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Total	105.621	113.151	137.117	156.965

*Los datos de 2020, 2025 y 2030 son estimaciones del Escenario Objetivo del PNIEC.

Tabla 1. Parque de generación del Escenario Objetivo (MW) [6]

Real Decreto 244/2019, 5 de abril [6]

España cuenta con una gran capacidad de energía solar debido a sus condiciones climatológicas, motivando la instalación de paneles solares para producir energía de autoconsumo. En el año 2008, España fue uno de los países con mayor capacidad de energía fotovoltaica instalada en el mundo. Sin embargo, durante la crisis, se aplicaron numerosas regulaciones que perjudicaron considerablemente al sector de las renovables. Aquellas viviendas con instalaciones de placas fotovoltaicas (PV) inferiores a 100 kW y mayores de 10 kW sufrieron, entre otras cosas [7]:

- El denominado “Impuesto al sol”: Impuesto a pagar por generar y consumir energía con paneles propios.
- Pago extra por la instalación del sistema de almacenamiento (baterías).
- Peaje de respaldo: Pago fijo mensual en función de la capacidad instalada.
- Trabas legislativas.

El pasado 5 de abril se aprobó el Real Decreto 244/2019, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Con este decreto se pretende impulsar la instalación de generación de autoconsumo, la independencia energética, la reducción de emisiones y la reducción en el gasto energético, eliminando las desventajas económicas y administrativas mencionadas [8].

Modalidades de autoconsumo

- Sin excedentes: no puede verter energía a la red. Tendrá que contar con un mecanismo antivertido. Aquí los autoconsumidores tendrán el papel de “sujeto consumidor”
- Con excedentes: puede o no verter energía a la red de transporte o distribución. Aquí habrá dos figuras, el “sujeto consumidor” y el “sujeto productor”. A su vez, esta modalidad se divide en dos grupos:
 - Acogida a compensación: tienen que cumplir los siguientes requisitos:
 - Tecnología renovable
 - Potencia menor o igual a 100 kW
 - Se puede tener un solo contrato de suministro para consumo y servicios auxiliares.
 - El autoconsumidor tiene que suscribir un contrato de compensación de excedentes
 - Debe tener instalaciones no retributivas a Régimen Retributivo Específico
 - No acogida a compensación: aquella que no cumpla con los requisitos previos

Solo se podrá cambiar de modalidad una vez al año y el almacenamiento está permitido en cualquier modalidad.

Tipo de autoconsumidores

- Individual: un solo consumidor. El consumidor será el mismo que el generador. Podrá escoger cualquier modalidad.
- Colectivo: varios consumidores y uno o varios generadores. Todos los consumidores asociados a la misma instalación deberán atenerse a la misma modalidad.

Permisos de acceso y conexión

- Consumo: se aplica la normativa general de consumo. En caso de consumir de la red se tendrá que pedir acceso.
- Generación:
 - Sin excedentes: No se necesita
 - Con excedentes, <15 kW: No se necesita
 - Resto: Se necesita, siguiendo la normativa existente.

Contratos de acceso y conexión

- <100 kW en red de baja tensión (BT): será realizado por la propia empresa de distribución, que informará a su vez a la empresa comercializadora.
- >100 kW en red de BT o alta tensión (AT): deberá comunicarlo a la compañía distribuidora y comercializadora.

Peajes

- De generación: sólo sujeto a los productores de la modalidad con excedentes tendrán que pagar un peaje por la venta de energía excedentaria.
- De consumo: sólo se abonarán por la potencia de facturación en el punto frontera y la energía consumida de la red.

Cargos

- Las que usen fuentes renovables, cogeneración o residuos están exentos.

El tipo de autoconsumo en el que se clasifica nuestra vivienda será autoconsumo individual sin excedentes. Con ello se evitará la necesidad de ningún tipo de permiso, ni para generación ni consumo, ni realizar ningún tipo de contrato con una compañía distribuidora o comercializadora, puesto que no va a estar conectada a la red. Tampoco habrá que pagar ningún tipo de peaje o cargo. Toda la energía producida será autoconsumida o almacenada para consumirla más adelante. Se tendrá un mecanismo de antivertido.

Energía solar fotovoltaica

Evolución de costes

Entre todas las energías renovables que existen, la más utilizada para autoconsumo residencial ha sido la solar fotovoltaica por numerosas razones. Es la tecnología que más se ha abaratado más en los últimos años (tal como se puede ver en la Ilustración 5) a diferencia del coste de las facturas de electricidad, que han seguido en aumento.

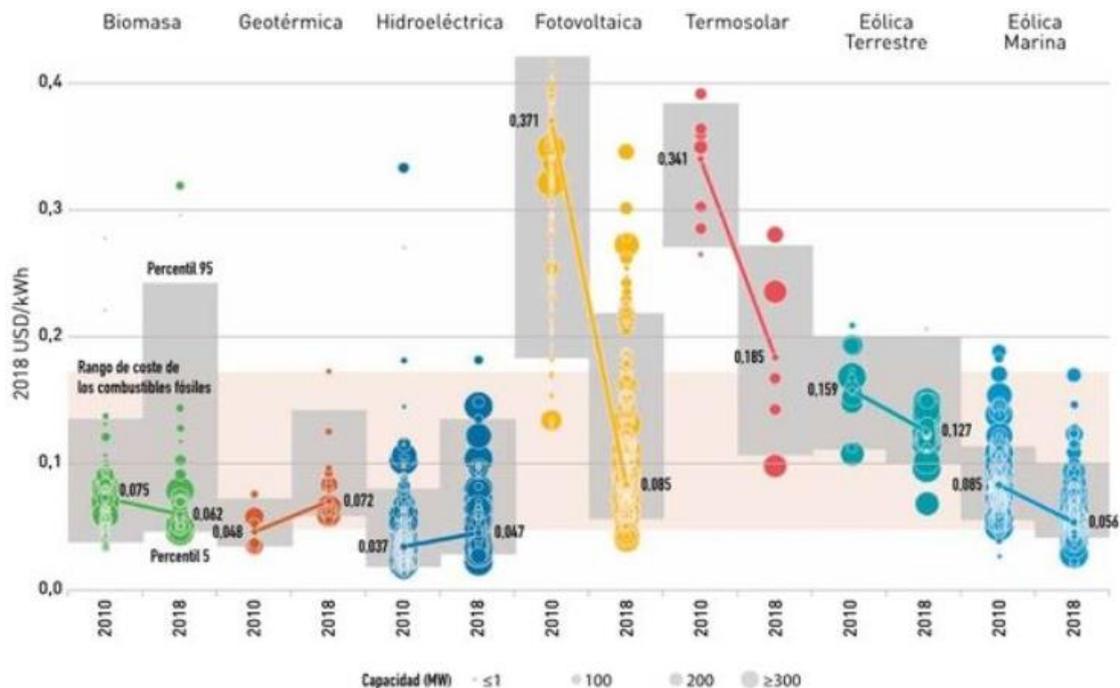


Ilustración 5. LCOE Global de las tecnologías renovables de generación a gran escala [9]

Según el estudio Rethinking Energy, de la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA [9], el precio de las placas solares fotovoltaicas ha descendido entre un 65% y un 75% entre 2009 y 2013, y el precio de la energía lo ha hecho un 80% desde 2008. No solo lo han hecho los paneles solares, sino también otros equipos de la instalación. Por otro lado, los costes de mantenimiento

son de los más bajos, especialmente en paneles fijos situados en los tejados, en los cuales no hay partes móviles y es poco probable que haya incidencias.

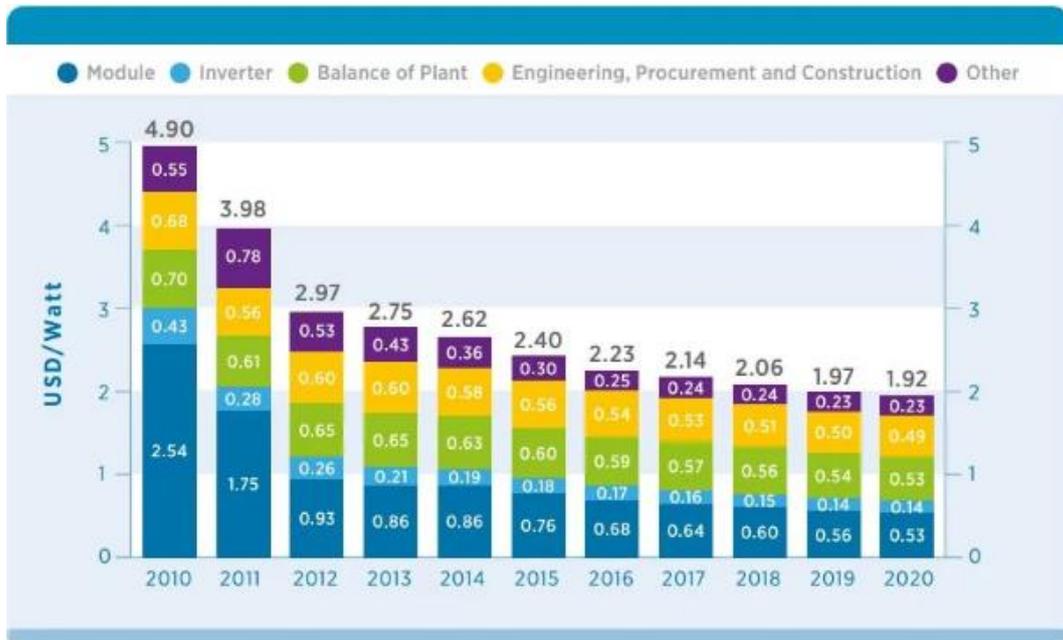


Ilustración 6. Evolución de costes tecnología solar FV

Tasa de retorno energético

La tasa de retorno energético está aumentando para esta tecnología. Esta tasa resulta del cociente de la energía producida para una actividad y la energía utilizada para desarrollar dicha actividad. En el caso de España, la tasa puede rondar entre los 6 meses y el año y medio dependiendo de donde se localice la instalación (Ilustración 7). La vida útil de una instalación solar puede llegar a sobrepasar los 30 años [10].

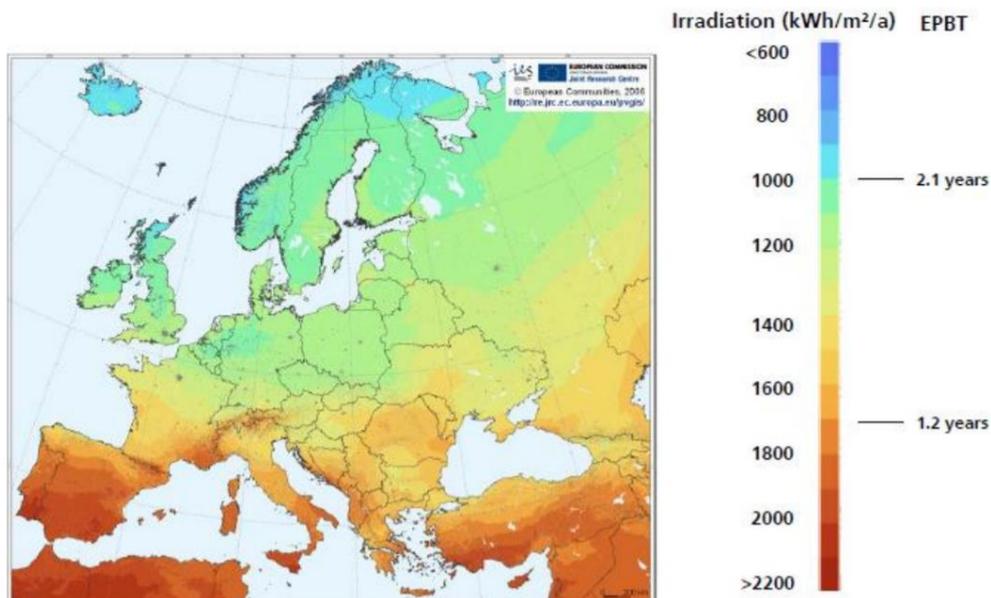


Ilustración 7. Tasa de retorno energético para un sistema instalado en tejado con paneles de silicio policristalino [11]

Reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI)

Otra de los principales atractivos de esta tecnología son los bajos niveles de emisiones a lo largo del ciclo de vida de los equipos. Los gases de efecto invernadero se generan principalmente en la fase de producción de los materiales, el transporte y la construcción de los equipos. Se estima que una instalación solar fotovoltaica de pequeña escala genera al menos 20 veces menos emisiones de CO₂ que una central térmica de carbón para producir la misma cantidad de energía. En caso de que fueran instalaciones a gran escala, se podría llegar a producir incluso 200 veces menos. Por otro lado, también se reducen entre 100 y 200 veces menos de otros contaminantes como el NO_x y el SO_x [12].

Creación de puestos de trabajo

Por último, se ha demostrado que el sector fotovoltaico es uno de los más contribuyentes a la hora de generar puestos de trabajo a nivel mundial, tal como se puede ver en la Ilustración 8. Este sector genera en torno a 5,2 millones de puestos de trabajo.

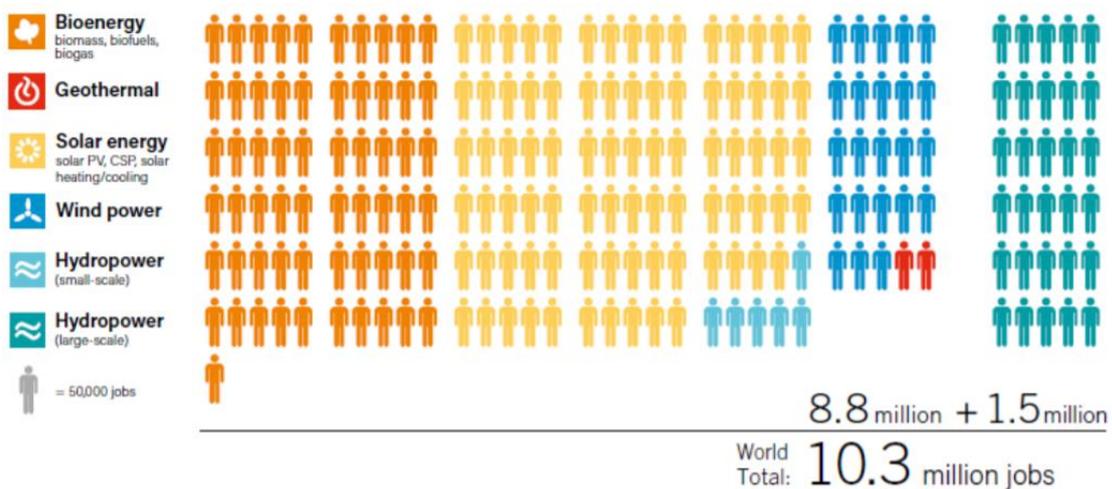


Ilustración 8. Creación de puestos de trabajo por tecnología a nivel mundial [13]

Equipos de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo [14]

Panel fotovoltaico

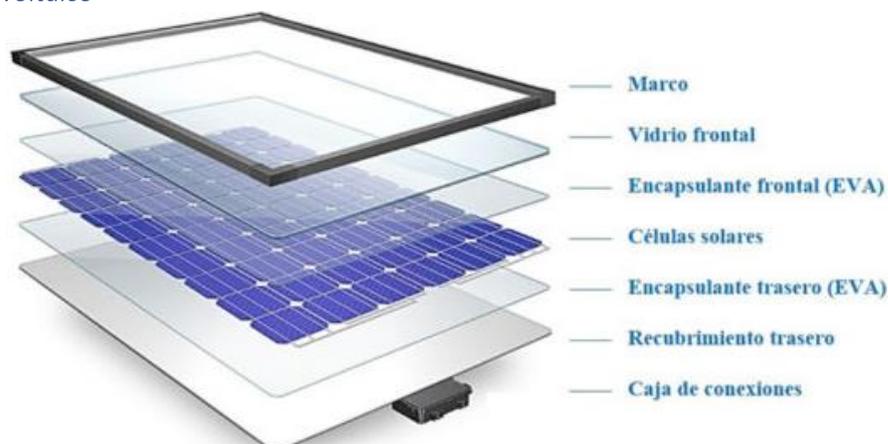


Ilustración 9. Componentes de un panel solar [15]

- Un marco, típicamente de aluminio anodizado que se encargará de la sujeción del soporte y de otorgar resistencia mecánica a la estructura.

- Una cubierta de vidrio que ayudará a aumentar el rendimiento de las células cuando haya un bajo ángulo de incidencia por parte de la radiación solar, y absorber más radiación difusa.
- Dos encapsulados, uno delantero y otro trasero, hecho de vinilo de acetato etileno (EVA), para proteger las celdas fotovoltaicas de la humedad y del aire, para evitar la oxidación del silicio de las mismas.
- Células solares, que será explicadas con mayor detalle en la próxima sección. Dichas células estarán conectadas eléctricamente a partir de un contacto metálico como se muestra en la Ilustración 10.

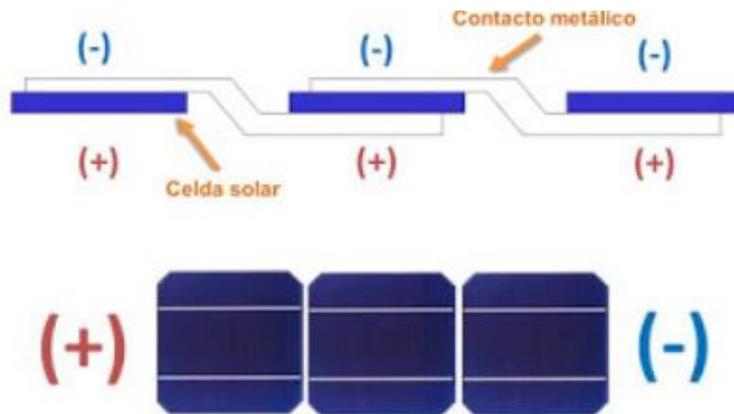


Ilustración 10. Conexión de los polos de las celdas solares [16]

- Recubrimiento trasero, normalmente de fluoruro de polivinilo (PVF), proporciona protección ante la humedad, la radiación ultravioleta y aislamiento dieléctrico. Además, ofrece una gran adhesión al encapsulante inferior.
- Caja de conexiones con bornes de los que partirán los cableados exteriores para realizar la conexión entre módulos. La caja contará con grado de protección IP65, en las que habrá diodos de protección, que se encargarán de reducir la pérdida de energía en caso de que la sombra incida sobre una de las ramas del panel (ver Ilustración 11 e Ilustración 12). Si una rama del panel solar está tapada por una sombra pasará a consumir corriente en vez de producir, perjudicando la generación de todo el conjunto.

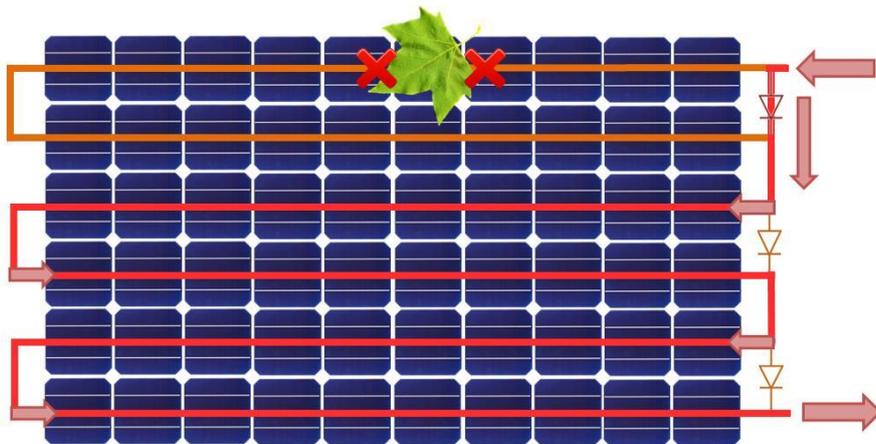


Ilustración 11. Efecto de la sombra en paneles solares [16]

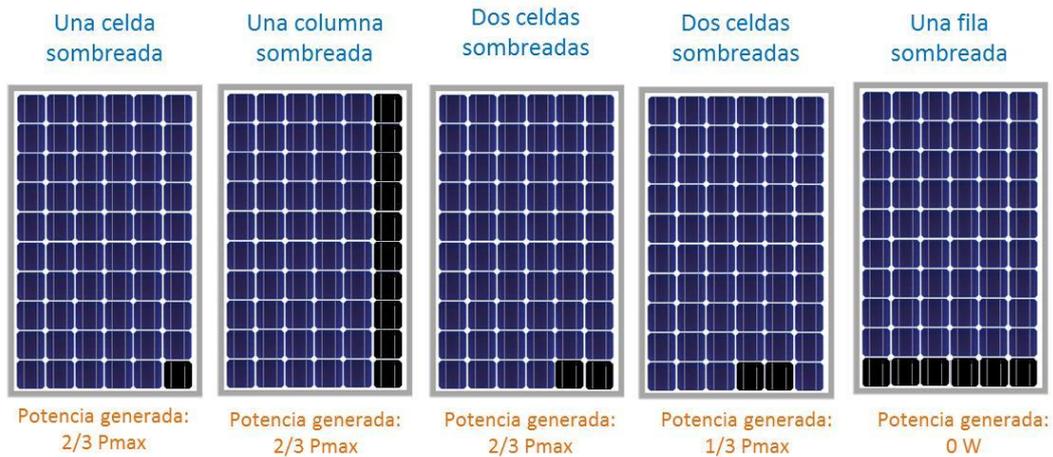


Ilustración 12. Efecto de las sombras en el rendimiento de los paneles solares [16]

Celdas o células fotovoltaicas

Fabricación de las celdas

El silicio se suele obtener a partir de la arena, el segundo material más abundante en el planeta. La arena tiene que ser convertida en cristales de 99.99% de silicio para poder ser utilizadas en celdas solares. Para ello, se realiza un proceso de purificación, en el que se junta arena con carbón a 2.000°C y se obtiene silicio en bruto (98% puro). El silicio en bruto se convierte en una forma compuesta de silicio gaseoso (SiHCl_3) al juntarlo con HCl. Después se mezcla con H_2 para obtener silicio policristalino altamente purificado, en forma de lingotes. Estos lingotes se remodelan en láminas muy finas, llamadas obleas de silicio. La oblea de silicio es el “corazón” de una celda fotovoltaica.



Ilustración 13. Celda fotovoltaica [17]

Silicio puro o intrínseco

Los átomos de silicio tienen 4 electrones de valencia (número de electrones de la última capa). Los átomos de las celdas de silicio puro forman una estructura mallada cristalina basada en enlaces covalentes, en la cual los electrones no tienen libertad. Cuando un fotón incide sobre un átomo de silicio le arranca un electrón de la última capa, dejando un hueco y convirtiéndose en un electrón libre. Para una temperatura constante, se crea el mismo número de electrones libres que de huecos, por lo que, al poco tiempo, los electrones ocuparán dichos huecos y se disipará la energía del fotón en forma de calor.

Unión P-N

Si se inyectan átomos con 5 electrones de valencia (por ejemplo, fósforo), uno de los electrones de la última capa sería capaz de moverse libremente por la celda al recibir suficiente energía. La inyección de átomos con una valencia mayor que los átomos anfitriones se conoce como dopaje

tipo N. Si se conecta una carga (circuito cerrado) por los dos extremos de dicha celda, los electrones se moverán de forma aleatoria por la celda, pero no por el circuito creado. Para conseguir que los electrones se muevan por el circuito en una sola dirección se necesita una fuerza motriz. Para obtener dicha fuerza se realiza una unión P-N. Ahora se coge otra capa de silicio que se coloca justo debajo de la capa dopada N, y se le realiza un dopaje de tipo P, añadiendo átomos con menos electrones de valencia (por ejemplo, el Boro, que tiene 3). En esta capa habrá un hueco para cada átomo. En la zona de unión habrá electrones sobrantes de la zona N que pasarán a rellenar los huecos de la zona P. A esta zona se le conoce como zona de carga espacial o región de agotamiento, en la cual no habrá electrones libres ni agujeros. Debido al desplazamiento de electrones el límite de la zona N se carga positivamente y el límite de la zona P se carga negativamente, creando un campo eléctrico que provocará una fuerza motriz en la región de agotamiento. [18]

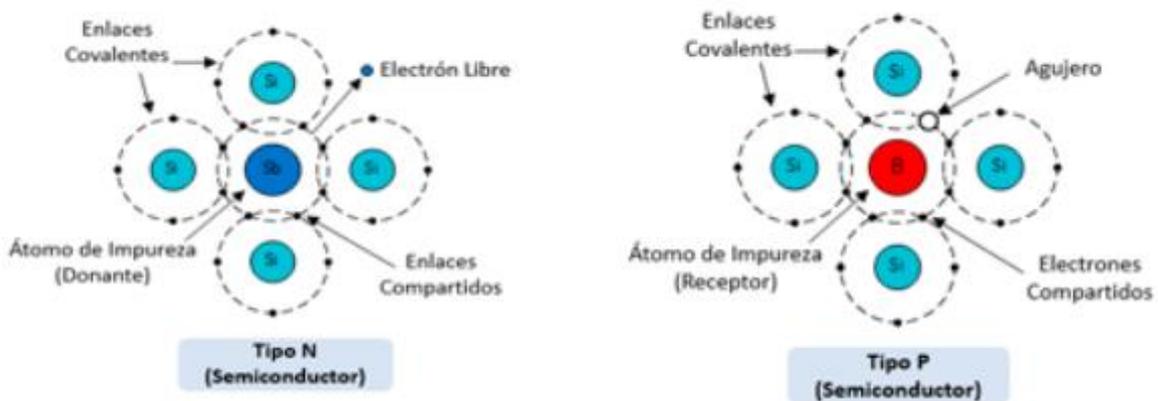


Ilustración 14. Semiconductores tipo N y tipo P [19]

Cuando los fotones golpean la zona N y llegan a la región de agotamiento se generan pares de electrón-agujero en dicha región. Debido al campo eléctrico, los agujeros se desplazarán a la región P y los electrones a la región N. Esto dará lugar a una gran diferencia de potencial por lo que, si se conecta un circuito cerrado entre el extremo superior de la capa N y el inferior de la capa P, los electrones libres irán a través del circuito para posicionarse en los huecos creados, creando una corriente continua. En una celda solar, la capa N está muy dopada y tiene un menor grosor que la capa P, que está ligeramente dopada. Esto es así para aumentar el rendimiento de la celda. Habrá una gran región de agotamiento más amplia que provocará más pares electrón-agujeros, aumentando la circulación de electrones, y por tanto aumentando el rendimiento. Por otra parte, al ser la capa superior más delgada, incidirá mayor radiación sobre la región de agotamiento.

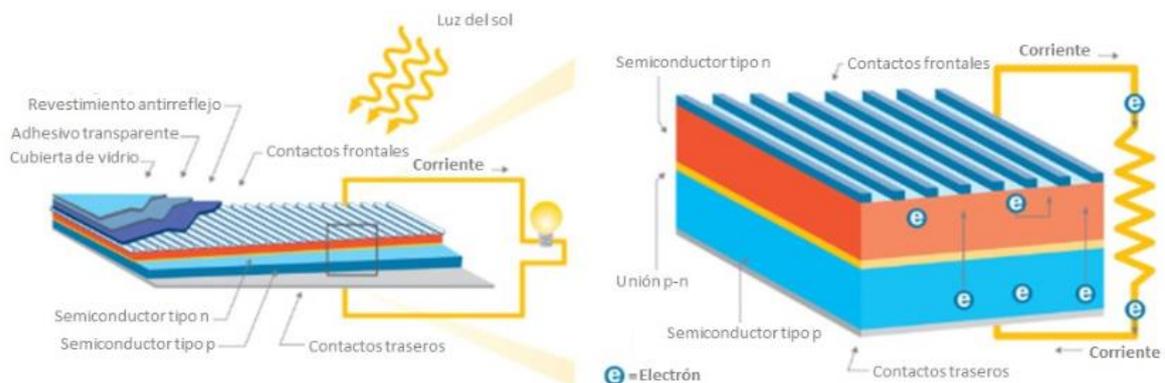


Ilustración 15. Unión P-N [20]

Dependencia de la radiación solar y de la temperatura

La intensidad generada por un módulo depende de la cantidad de radiación que incide sobre ella. A mayor radiación mayor corriente.

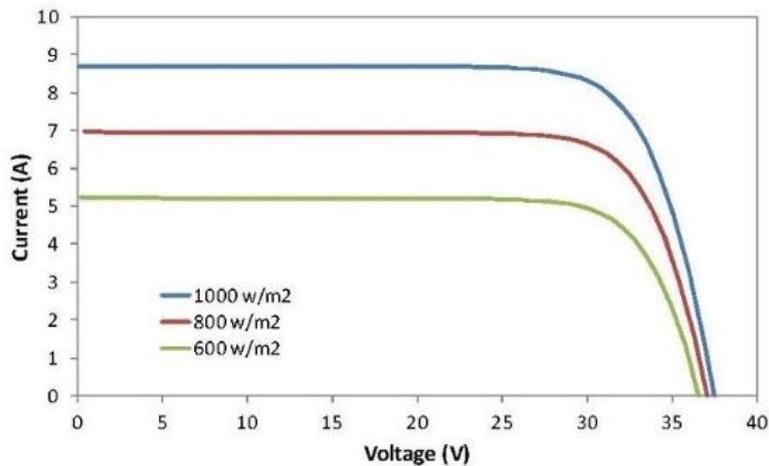


Ilustración 16. Curva I-V para una temperatura constante

En cuanto a la temperatura, a mayores temperaturas la tensión es menor, disminuyendo el rendimiento.

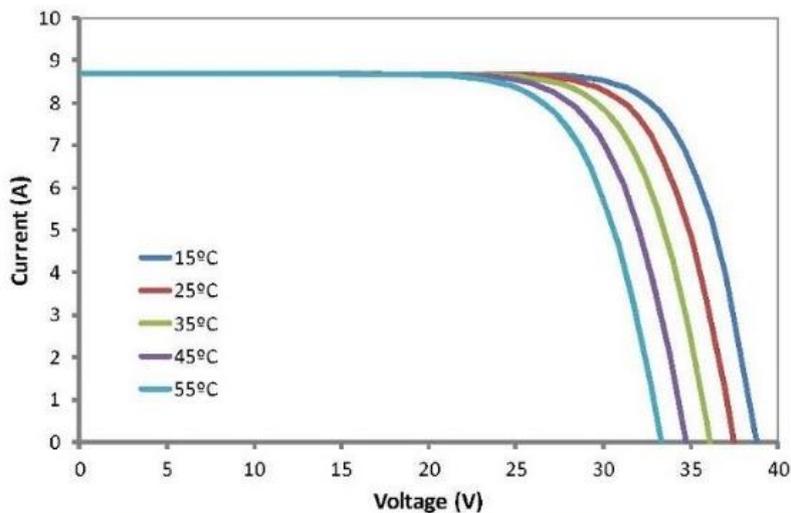


Ilustración 17. Curva I-V para una irradiancia solar constante

Punto de máximo potencia (P_{mp})

La potencia entregada dependerá del valor de intensidad y tensión en el que trabaje, que a su vez dependerá de la radiación, la temperatura de la superficie del módulo o la cantidad de la carga que se alimenta. En ese rango de tensión e intensidad, existe un punto para el cual se entrega la máxima potencia (P_{mp}), que es la que se desea obtener para obtener el mayor rendimiento posible. Esos valores de tensión e intensidad se identifican como tensión de máxima potencia (V_{mp}) e intensidad de máxima potencia (I_{mp}). Las fichas técnicas de los proveedores de paneles solares suelen indicar estos valores para unas condiciones estándar de medida (irradiancia solar: 1000 W/m^2 ; distribución espectral: AM 1,5 G; temperatura de célula: 25°C). Por otro lado, se informará sobre la Intensidad de cortocircuito (I_{sc}) y la tensión de vacío (V_{oc}).

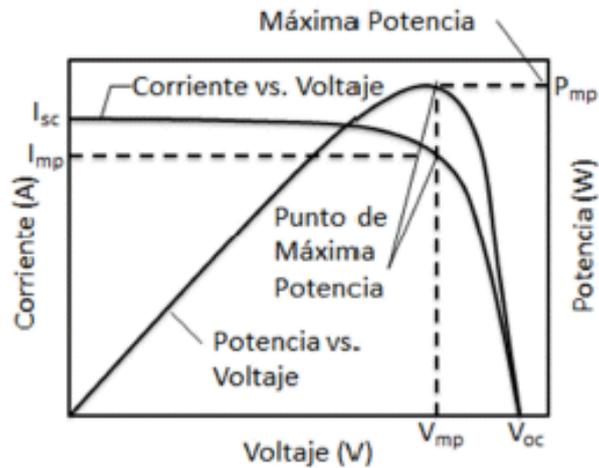


Ilustración 18. Curvas P-V y V-I para cálculo del punto de máxima potencia (P_{mp}) [21]

Eficiencia de los paneles solares

La eficiencia de una placa viene dada por el cociente entre la energía eléctrica producida por el panel entre la energía solar que incide sobre el mismo. La mayoría de las celdas suelen ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo (de película delgada). Los primeros están formados por un solo cristal puro de silicio y tienen los mayores valores de eficiencia, en torno al 18% y 20% de media. Los segundos, se forman en un solo bloque formado por varios cristales. Estos suelen ser más utilizados debido a su relación eficiencia-precio, puesto que cuestan menos que los monocristalinos y llegan a eficiencias del 16% o 17,5%. Los últimos tienen un precio y una eficiencia menor (8% - 9%), al estar formados una red cristalina desordenada [22]. Por otro lado, los paneles están disminuyendo su tamaño, requiriendo menos espacio, lo cual suele ser determinante en autoconsumo residencial y además el coste de generación sigue disminuyendo y se prevé que siga haciéndolo, como se puede ver en Ilustración 19.

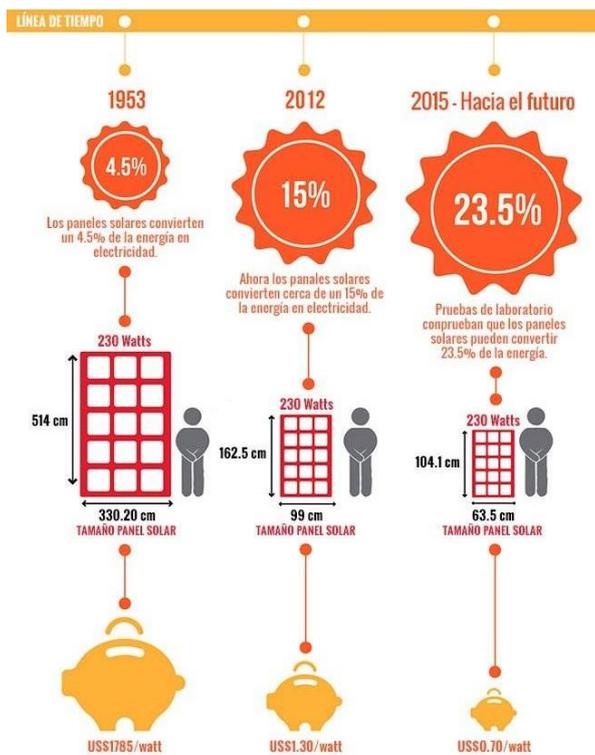


Ilustración 19. Evolución de las placas solares [23]

Estructura de los paneles solares

Las estructuras sobre las que se montan los paneles solares suelen ser de aluminio. Pueden ser fijas o móviles. Las móviles tienen la ventaja de poder realizar un seguimiento del desplazamiento del Sol aumentando así la radiación solar y por lo tanto la eficiencia del sistema. El movimiento de los seguidores se realiza a través de unos motores eléctricos que pueden recibir energía tanto de la red como de los propios paneles. El inconveniente del seguimiento es que tiene un mayor grado de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la estructura.



Ilustración 20. Estructura fija para paneles solares [24]

Disposición de los paneles solares

Como se puede ver en la Ilustración 21, la orientación e inclinación de un panel solar determinarán el rendimiento que tendrá a lo largo del año. La idea es colocar el panel solar con orientación N-S y el ángulo de inclinación será determinado por la herramienta de diseño PVSyst.

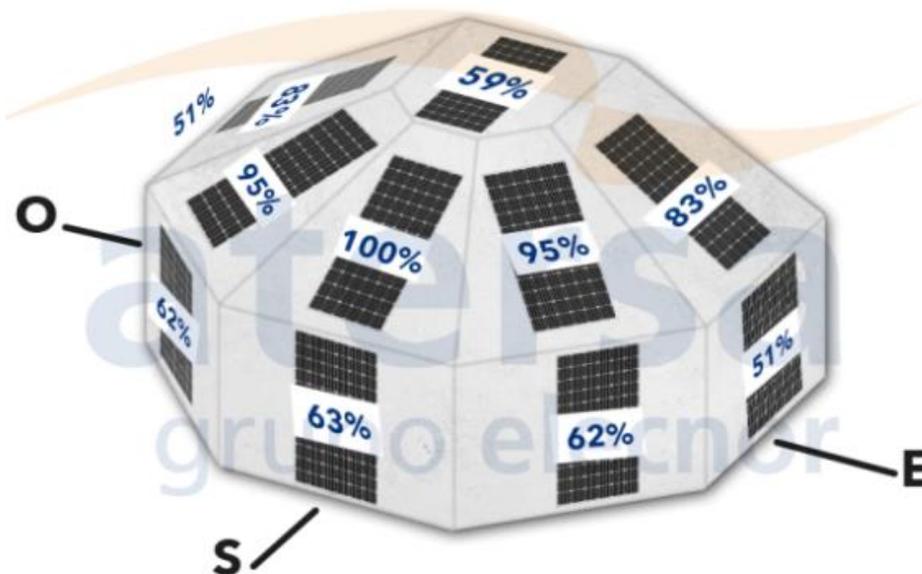


Ilustración 21. Rendimiento promedio de un panel según inclinación y orientación [25]

Por otra parte, en caso de necesitar varias filas de paneles solares, por motivos de espacio, se deberá tener en cuenta la distancia entre filas para evitar posibles sombreados que produzcan un impacto negativo en el rendimiento de las mismas. En la Ilustración 22 se muestra un ejemplo de cómo se calcularía la distancia entre filas para unos determinados paneles y ángulo de inclinación.

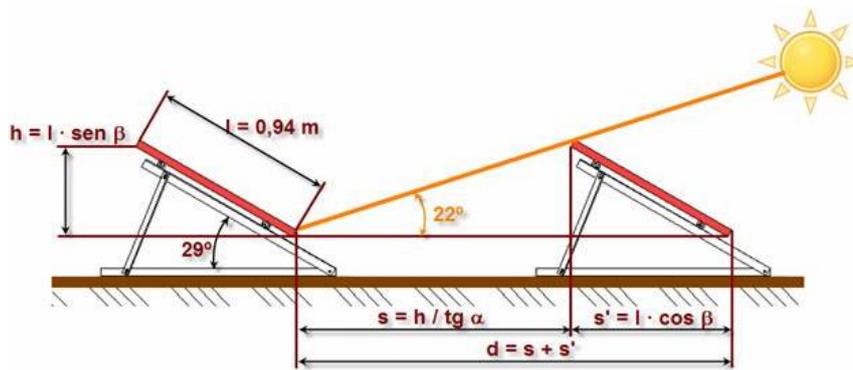


Ilustración 22. Cálculo de distancia entre filas de paneles solares [26]

Regulador

El regulador se encarga de controlar el flujo eléctrico entre los paneles solares, las baterías y los consumos de la vivienda. Este equipo decide si la corriente continua generada por los paneles va hacia los consumos o hacia las baterías, o si la energía almacenada en las baterías debe ir hacia los consumos y evitar sobrecargas o descargas considerables por parte de las baterías, aumentando su vida útil. La mayoría de los reguladores cuentan actualmente con un Maximum Power Point Tracking (MPPT), que es un sistema que se encarga de buscar el punto de tensión para el cual la potencia entregada por los paneles es máxima, mencionado previamente.



Ilustración 23. Regulador de carga [27]

Para la elección del regulador se tendrá en cuenta los valores nominales de corriente máxima y tensión nominal:

- El regulador debe soportar las intensidades máximas de entrada y de salida. En el primer caso, la corriente máxima será la del I_{sc} del panel solar. En cuanto a la salida, será la corriente total necesaria para alimentar todos los consumos. El regulador tendrá que soportar al menos un 25% más de dichas corrientes, por motivos de seguridad.
- El regulador debe desconectarse cuando la tensión del consumo sea menor que la tensión de funcionamiento de las baterías, para evitar su deterioro.

Máximas caídas de tensión permitidas:

- Entre paneles y regulador:
 - 4% para generador de <1kW
 - 2% para generador de >1kW

- Entre regulador y baterías:
 - 4% para generador de <1kW
 - 2% para generador de >1kW

Las pérdidas diarias debido al propio consumo del regulador no deberán superar un 3% de las pérdidas totales. Además, debe contar con elementos de protección contra cortocircuitos o posibles desconexiones entre las baterías y los paneles.

Inversores

Los inversores tienen la función de transformar corriente continua que proviene de los paneles solares o de las baterías en corriente alterna. Son fundamentales en las instalaciones fotovoltaicas puesto que la electricidad consumida en una vivienda es principalmente en alterna. Las principales características de los inversores son la tensión de entrada, la potencia máxima y el rendimiento. Esto último se mide como la potencia de salida entre la potencia de entrada. Este valor suele rondar entre 90% y 97%.



Ilustración 24. Inversor [26]

Los inversores suelen contar con numerosas protecciones:

- Protección contra sobretensiones, cortocircuitos, calentamiento excesivo, inversión de polaridad
- Protección funcionamiento en isla

Según donde estén instalados deberán cumplir distintos grados de protección:

- Interior y lugar inaccesible: IP20
- Interior y lugar accesible: IP30
- Exterior: IP65

Además de esto debe disponer de aislamiento galvánico y ofrecer un bajo autoconsumo y una baja distorsión armónica para no perjudicar los consumos. Por otro lado, tendrá un sistema de monitoreo y controles para permitir la conexión y desconexión del resto de equipos.

Baterías

Las baterías o acumuladores permiten almacenar la energía eléctrica generada en las horas de poco consumo y poder ser utilizada más adelante, en las horas pico de demanda o en las que no haya sol. Para ello, primero tienen que ser cargadas y tendrán un límite de almacenamiento. Por otra parte, las baterías se descargarán con el tiempo. Las baterías jugarán un papel crucial en

una instalación de autoconsumo puesto que la generación y la demanda de una vivienda varían a lo largo del día y del año. La generación solo se dará durante las horas de Sol, las cuales serán más durante el verano y menores en invierno. En cuanto a la demanda, podrá distribuirse a lo largo del día y del año según el estilo de vida de los usuarios de la vivienda.

Las baterías están formadas por dos electrodos sumergidos en un medio electrolítico. Las baterías más utilizadas en instalaciones solares son las estacionarias, de plomo ácido y de placa tubular. Suelen combinarse vasos electroquímicos de 2V, en serie y/o paralelo para obtener 12 V, 24 V, 48 V, y así sucesivamente pudiendo llegar hasta baterías de 300 V como se puede ver en la Tabla 2.

Potencia instalación (W)	Tensión de trabajo (V)
<1500	12
1500-5000	24 ó 48
>5000	48 ó 120

Tabla 2. Tensión de trabajo de las baterías según la potencia de la instalación

Las características principales de un acumulador son las siguientes:

- Capacidad nominal, C_{20} (Ah): indica la cantidad de energía que puede ser almacenada por una batería viene medida en amperios-hora (Ah) a 20°C, hasta que el voltaje entre sus bornas llegue a 1,8V/vaso. Esta capacidad aumenta si la carga y la descarga de la batería se hace de forma progresiva. Grandes velocidades de carga o descarga pueden reducir la capacidad y a largo plazo la vida útil de la batería.
- Autodescarga: las baterías se descargan lentamente con el tiempo, aunque no se les conecte a ninguna carga (circuito abierto). A este proceso se le conoce como autodescarga. Suele indicarse como porcentaje de la capacidad nominal. Por lo general, no supera valores del 6% por mes.
- Factor de rendimiento: resulta del cociente entre los Ah que realmente se pueden descargar dividido por los Ah necesarios para cargar la batería por completo.
- Régimen de carga/descarga: es el tiempo requerido por una batería para cargarse/descargarse a un cierto valor de corriente de carga/descarga. Se suele medir en horas y se obtiene del cociente entre la capacidad (Ah) y la corriente de carga/descarga (A).
- Profundidad de carga (PD o DOD): cociente de la cantidad descargada y la capacidad nominal medida en porcentaje.
- Profundidad de descarga máxima ($PD_{m\acute{a}x}$): Es la cantidad máxima descarga hasta el punto en el que el regulador desconecta las baterías para preservar la vida útil de las mismas. Rondan valores del 15-25%, para un ciclo diario. Si es el caso de ciclo estacional, indica el número de días que es capaz de estar descargándose sin recibir energía de los paneles solares. Suele rondar entre los 4 y 10 días con una $PD_{m\acute{a}x}$ del 75%. Suelen tener un ciclo de 100 horas para para realizar descargas progresivas que mantengan su vida útil.

Los sistemas de baterías se unen en serie o paralelo según las necesidades como se puede ver en la Ilustración 25. Si se conectan en serie se puede obtener una tensión mayor. En caso de conectar en paralelo, la tensión de trabajo será la misma de todas las baterías, pero se consigue aumentar la capacidad de almacenamiento del conjunto. Es importante que las baterías estén colocadas en lugares ventilados puesto que pueden recalentarse y tener equipos de protección para evitar posibles cortocircuitos.

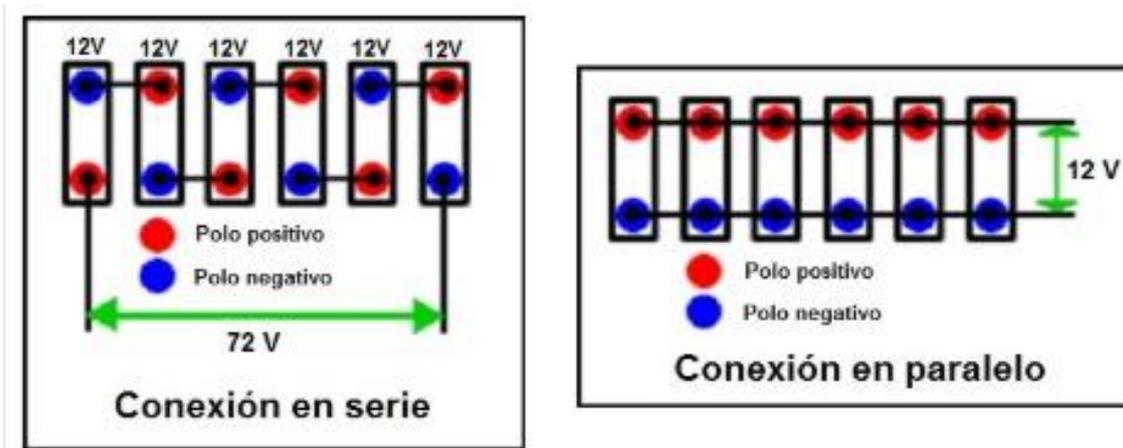


Ilustración 25. Asociaciones de baterías [14]

Cableado de baja tensión

La transmisión de la energía eléctrica producida por los paneles se transportará a partir de cableado de cobre o aluminio. Estos cables deberán tener un aislamiento que los proteja contra la humedad, altas temperaturas, radiación ultravioleta, corrosión y golpes.

Habrán distintos tramos entre los componentes del sistema y cada parte tendrá una sección determinada según la energía transportada, siguiendo los criterios de dimensionamiento del Reglamento de Baja tensión.

Protecciones

Los distintos componentes de la instalación fotovoltaica contarán con diversas protecciones acorde a la normativa correspondiente para proteger tanto a las personas como a los propios equipos, los cuales se han mencionado en cada equipo. Es por ello que no se realizarán sus cálculos puesto que las fichas técnicas otorgadas por los fabricantes indicarán los niveles máximos admisibles. Los principales tipos de protecciones que incluyen los equipos son los siguientes [28]:

- Interruptor magnetotérmico: este dispositivo sirve para prevenir altas corrientes que se pueden producir por cortocircuitos o sobrecargas. El circuito interno está compuesto por un electroimán o bobina, más una lámina bimetálica en serie:
 - Si se produce un cortocircuito (contacto entre dos puntos de distinto nivel de tensión, por ejemplo, entre fase y neutro), la corriente que circula se eleva considerablemente en muy poco tiempo. El electroimán que abre un contacto o interruptor para impedir el paso de la corriente. La velocidad de este sistema es de unos 25 milisegundos.
 - En caso de que se vayan conectado varios consumos, aumenta la temperatura de la lámina bimetálica (efecto Joule). Cuando se pasa de un determinado límite, esta lámina se deforma lo suficiente como para accionar el interruptor, creando un circuito abierto. Este mecanismo es más lento y se acciona con intensidades menores de las de cortocircuito, que pueden deteriorar los equipos en caso de prolongarse en el tiempo.
- Diferencial automático: este dispositivo se encarga de medir la diferencia de la corriente de entrada y la salida de un circuito. Si todo funciona correctamente, la corriente que entra por el diferencial es la misma que la que sale. En caso de producirse una falta de corriente, si por ejemplo una persona toca un consumo que no está puesta a tierra, una

parte de la corriente pasará por la persona, haciendo que la corriente de salida no sea igual a la de entrada. En ese momento, el diferencial actuará abriendo el circuito. La diferencia de corriente entre entrada y salida se conoce como sensibilidad y suele rondar los 30 miliamperios y activarse en 25 milisegundos.

Mantenimiento

El mantenimiento de una instalación se basa fundamentalmente en la limpieza de los paneles solares, los cuales pueden acumular polvo o partículas provenientes de la contaminación que dan lugar a una reducción de irradiación solar y por tanto del rendimiento. Las principales actividades a realizar para asegurar un buen mantenimiento de la instalación son [29]:

- Limpieza de los módulos: Como se comentaba antes, los paneles deben ser limpiados para mantener los niveles de producción al máximo posible. Por lo general no hace falta lavarlos con mucha frecuencia, al menos una vez al año, a no ser que se viva en una zona con mucha contaminación o suciedad en el aire. El agua de lluvia se encargará también de limpiar los propios paneles. Cuando se haga de forma manual se recomienda utilizar agua tibia y jabón de lavavajillas y secar los paneles con una escobilla de goma evitando rayar o dañar el vidrio.
- Inspección visual de los paneles: en caso de haber algún objeto, animal muerto, o vegetación, o que se haya producido alguna grieta o rayadura, es conveniente retirarlo cuanto antes o avisar a un especialista en mantenimiento.
- Inspección de la estructura fija: las estructuras suelen ser de acero inoxidable, evitando su corrosión, sin embargo, viene bien comprobar cualquier posible defecto o que el nivel de inclinación sea el adecuado.
- Inspección de las baterías: es importante realizar una limpieza de los bornes y la parte superior de las baterías. Por otro lado, habrá que comprobar el nivel de electrolito, que deberá mantenerse al nivel recomendado por el fabricante, a no ser que sea una batería sellada. También habrá que comprobar el estado de carga y la capacidad utilizando un densímetro. Por último, resulta conveniente hacer una equalización de las baterías, para conservar y aumentar su rendimiento y vida útil. Hoy en día existen distintos modelos de baterías que apenas necesitan un mantenimiento continuo.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA AUTOSUFICIENTE

Ubicación

El objeto social de esta vivienda es que sea utilizado por aquellos refugiados que son acogidos en el país y que por lo general no solo tienen dificultades para obtener asilo, sino que también les es difícil obtener un refugio digno.

Según el Informe 2019: Las personas refugiadas en España y Europa, elaborado por la Comisión Española de Ayuda al Refugiado [30], dice que en el año 2018 se formalizaron un total de 54.065 solicitudes de acogida, siendo el cuarto país europeo con más solicitudes. En el primer trimestre de 2019, el crecimiento fue exponencial, con la presentación de 26.629 nuevas solicitudes, según el Ministerio del Interior. Debido al rechazo de acogida de inmigrantes por parte de Italia y Grecia, España se convirtió en el país europeo que más refugiados acogió por vía marítima. Dichos refugiados llegaban principalmente a las costas andaluzas cruzando el mar Mediterráneo. En torno a 70.000 inmigrantes llegaron a través de más de 2.000 embarcaciones.

Los inmigrantes que son acogidos en las costas andaluzas y son llevados a centros de acogida improvisados, apenas cuentan con recursos mínimos. La instalación de viviendas modulares autosuficientes en la zona podría suponer un cambio significativo para lidiar con las tediosas esperas de los inmigrantes a las respuestas de asilo. En un artículo de La Vanguardia del pasado año [31], se hacía mención del primer “campo de refugiados temporal” de España. Se sitúa en el muelle de Crinavis, Algeciras (Cádiz). Desde este centro se gestionan los destinos de los inmigrantes. Cuenta el artículo que también se estaba utilizando el polideportivo de Los Cortijillos pero que las condiciones de vida eran pésimas. Es por ello que se decide estudiar la viabilidad de una vivienda autosuficiente en este terreno. La ubicación exacta no será objeto de este estudio, pero se asume que será cerca del centro polideportivo o en alguna zona más residencial, pero con suficiente distancia a cualquier objeto que pueda producir una sombra desde el sur.

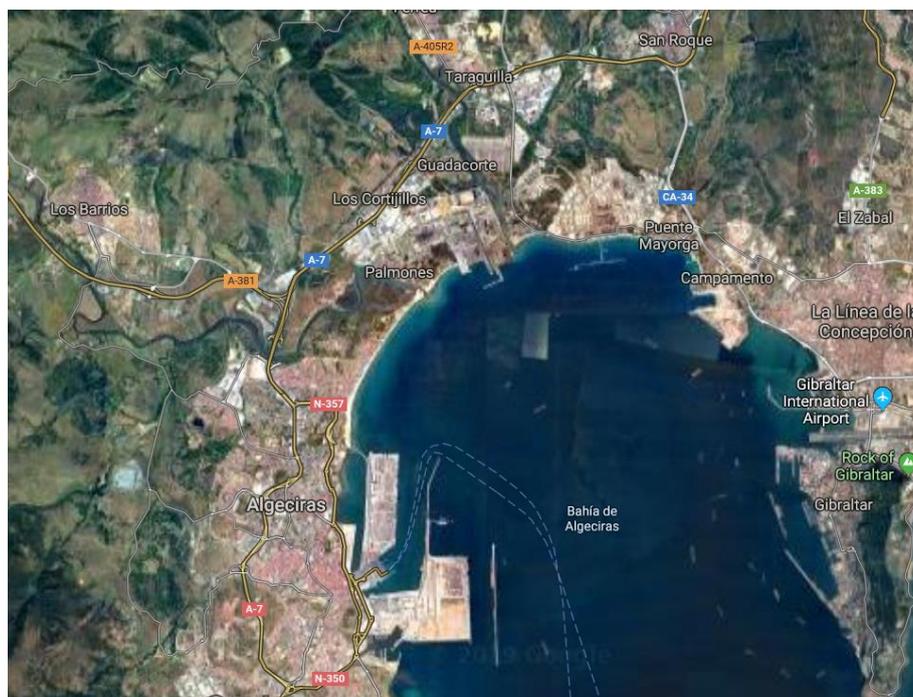


Ilustración 26. Ubicación de la vivienda (1)

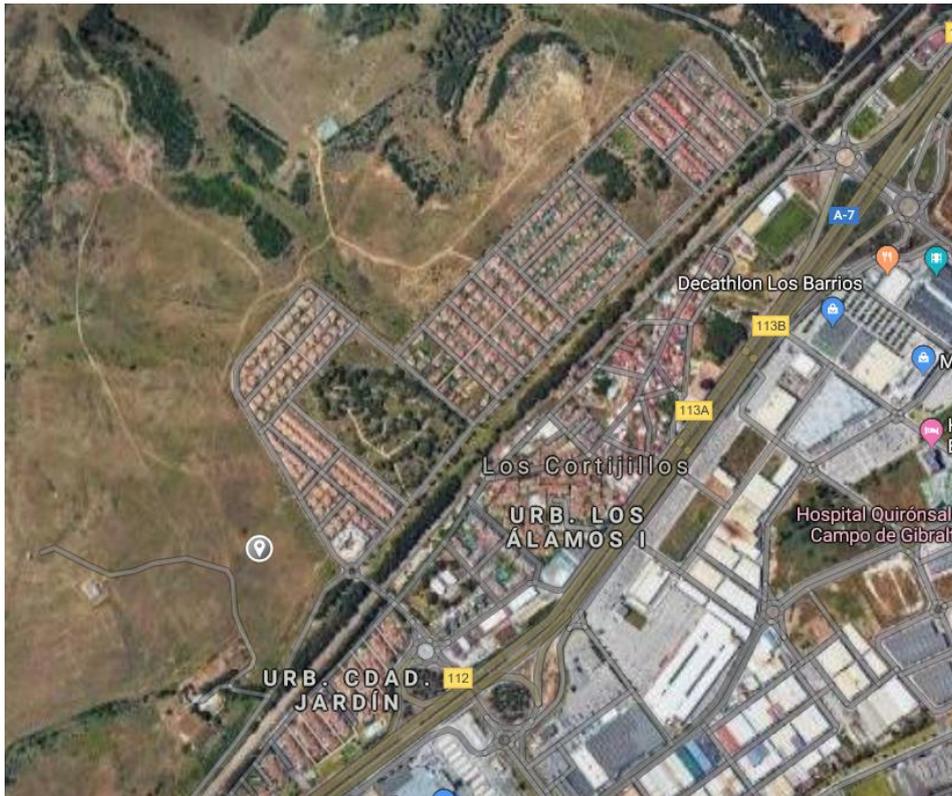


Ilustración 27. Ubicación de la vivienda (2)

A continuación, se muestra el mapa de radiación solar de España. En ella se agrupan los territorios en 5 grupos (I a V), siendo el grupo V el que mayor radiación recibe. La zona de Andalucía es reconocida por su alto nivel de radiación, marcados por territorios del grupo IV y V. La ubicación de la vivienda pertenece concretamente al grupo IV. Es interesante mencionar que a pocos kilómetros de la zona de estudio se encuentra una plantación solar fotovoltaica, lo cual incita a que es una zona óptima para considerar el autoconsumo con dicha tecnología.

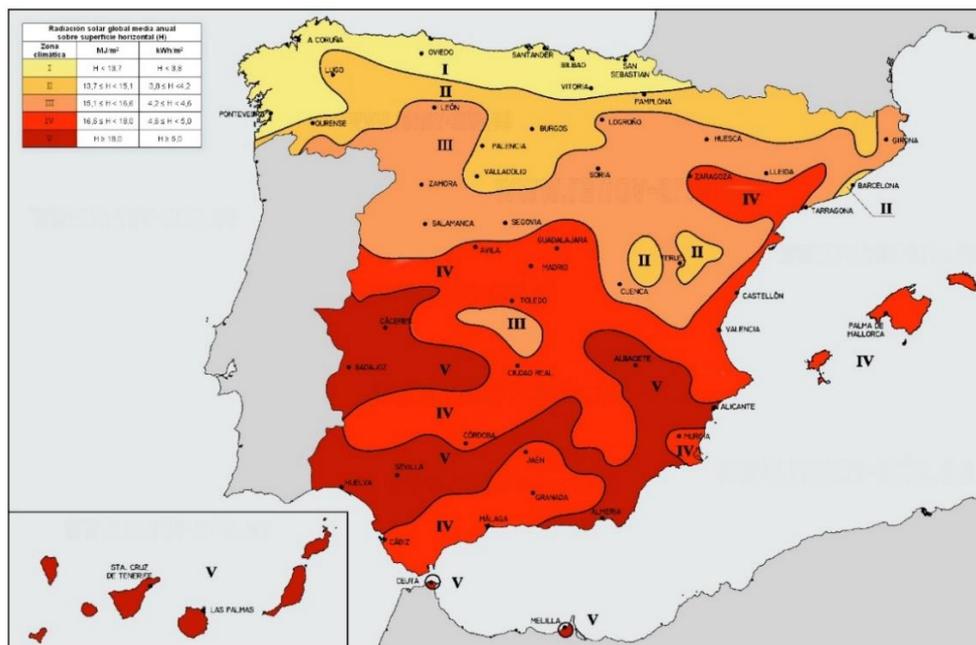


Ilustración 28. Mapa de radiación solar anual de España [24]

Otra característica importante a tener en cuenta para la viabilidad de la vivienda es el consumo estimado. Teniendo en cuenta el tipo de vivienda (unifamiliar) y que se va a ubicar en la zona climática del mediterráneo, se estima que sea la zona con menor consumo medio de España, lo cual es otro punto a favor del desarrollo de este proyecto (ver la Tabla 3).

kWh/hogar	Zona Climática			
	Atlántico Norte	Continental	Mediterránea	España
Pisos	7.306	9.796	6.128	7.544
Unifamiliares	14.987	19.653	13.239	15.513
España	9.293	12.636	8.363	9.922

Tabla 3. Consumos promedio según vivienda y ubicación [32]

Ocupantes

El diseño de la vivienda se ha pensado para una familia de 4 personas. Un matrimonio con dos hijos.

Dimensiones de la vivienda

Las dimensiones mínimas establecidas para obtener la cédula de habitabilidad [33] varían en cada comunidad. Las dimensiones mínimas de superficie útil oscilan entre 25 m² (Andalucía), 30 m² (Comunidad Valenciana), 36 m² (Cataluña), 38 m² (Comunidad de Madrid). Para simplicidad del proyecto se tomarán los 40 m² como el área total de la planta. La vivienda contará con dos plantas, por lo tanto, 80 m² totales. La altura de cada planta será de 3 metros. La distribución de la vivienda será la siguiente:

Planta superior:

- 2 dormitorios: 1 para los padres y otro para los hijos. (se considera un máximo de 4 ocupantes en total). El dormitorio de los padres contará con una cama doble y un armario, mientras que el de los hijos tendrá 2 camas individuales.
- 2 baños: 1 por cada 2 personas. Cada baño incluirá inodoro, lavamanos, ducha con toallero, un pequeño armario y una ventana.
- Pasillo: comunica los dormitorios y los baños.
- Escaleras: que conectan el pasillo de la planta superior con el salón de la planta inferior.

Planta inferior:

- Cocina: en ella se ubicarán distintos armarios y cajones a parte de los diversos electrodomésticos propios de la cocina. En la cocina también estarán los equipos de lavandería.
- Salón-comedor: Habrá una pequeña mesa y espacio suficiente para incluir sillas.

ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Se procederá a estimar el consumo medio a lo largo de un año teniendo en cuenta las características de la vivienda, el número de huéspedes. Para ello, se tendrán en cuenta las siguientes hipótesis:

- Todos los equipos serán eléctricos, evitando el consumo de gas, reduciendo al máximo posible las emisiones de gases de efecto invernadero.
- El sistema hidráulico no se tendrá en cuenta. Se asume que habrá un sistema de obtención de agua potable y que habrá también un sistema de aguas residuales para el conjunto de viviendas que se pretenden instalar en la zona. El diseño de estos sistemas no es objeto del proyecto.

Descripción de los consumos por zonas:

- Planta superior:
 - 2 dormitorios: Cada uno contará con un punto de luz y dos lámparas de mesa.
 - 2 baños: Cada baño contará con un punto de luz
 - Pasillo: Dos puntos de luz. Uno por el pasillo y otro a la altura de las escaleras.
- Planta inferior:
 - Cocina: contará con dos puntos de luz. También contará con nevera, congelador, microondas, horno, fregadero, cocina de vitrocerámica, extractor de humos y lavavajillas. También incluirá los electrodomésticos de limpieza: lavadora y secadora.
 - Salón-comedor: contará con dos puntos de luz.

Iluminación

Con objeto de reducir en la mayor medida posible el consumo de la iluminación se decide suponer que las bombillas utilizadas serán de tipo LED. Conociendo el área útil (m²) de cada zona de la vivienda, la luminosidad recomendada por zona en luxes [34], y teniendo en cuenta que los lúmenes aproximados por watio de una bombilla LED son 100, se ha estimado la potencia requerida en cada parte de la casa.

Zona	Ancho (m)	Largo (m)	Área útil (m ²)	Luminosidad recomendada (lux)	Potencia requerida (W)
Dormitorio	3	2,4	7,2	200	15
Baño	1,5	2,4	3,6	200	11
Pasillo	1	9,6	9,6	100	10
Salón	2,6	4,7	12,22	300	37
Cocina	3,6	4,7	16,92	200	34

Tabla 4. Potencia recomendada para iluminación por zona

Para obtener la demanda horaria de la iluminación de la vivienda se va a determinar qué horas del día los individuos estarán despiertos y cuáles de esas horas no hay luz solar. Se tienen en cuenta las siguientes hipótesis:

- Los huéspedes se despiertan a las 7:00.
- Los huéspedes se van a dormir a las 00:00.
- Se asumen un factor de simultaneidad igual a 0,75 siguiendo los estándares del ITC-BT-25 [35] sobre circuitos de instalaciones interiores de viviendas. Entonces para aquellas horas en la que la luz se considera encendida se consume 100 W.

Aparatos/electrodomésticos

A continuación, se muestra una tabla con el consumo anual promedio de los principales electrodomésticos [36]. De ahí se obtiene el consumo promedio diario teniendo en cuenta que el consumo de la nevera y el frigorífico a lo largo de las 24 horas, mientras que el resto de los consumos se distribuirán a lo largo de las horas que los huéspedes están despiertos, es decir entre las 07:00 y las 00:00.

Aparato	Anual	Horario	
	$E_{\text{anual}}(\text{kWh})$	$E_{\text{noche}}(\text{Wh})$	$E_{\text{día}}(\text{Wh})$
Cargador móvil (x2)	15	0,00	2,41
Vitrocerámica	210	0,00	33,75
Microondas	40	0,00	6,43
Horno eléctrico	175	0,00	28,13
Extractor de humo	35	0,00	5,63
Frigorífico	662	75,36	75,36
Congelador	563	64,09	64,09
Lavavajillas	280	0,00	45,00
Lavadora	260	0,00	41,79
Secadora	260	0,00	41,79
Plancha	300	0,00	48,22
Aspirador	150	0,00	24,11
Batidora	34	0,00	5,46
Televisión	250	0,00	40,18
TOTAL	3234	139,46	322,88

Tabla 5. Consumo de electrodomésticos

Calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (ACS)

Durante las últimas décadas, los sistemas de calefacción y ACS habituales han consistido en la quema de combustible, fundamentalmente gas, produciendo grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera. También se han utilizado radiadores eléctricos. En cuanto a los sistemas de refrigeración consistían en el uso de un líquido refrigerante que absorbe el calor de la vivienda, a través de un circuito compuesto por dos intercambiadores de calor (condensador y evaporador), un compresor y una válvula.

Actualmente, las bombas de calor se están convirtiendo en los sistemas más eficientes tanto para control de la temperatura del hogar, como para la obtención de agua caliente sanitaria. Existen bombas de calor que son capaces de realizar las 3 funciones, consumiendo solamente energía eléctrica, dando lugar a unos niveles muy bajos de contaminación. Por otro lado, suelen tener un buen comportamiento cuando se sitúan junto a un sistema de generación fotovoltaica.

Estos equipos además son más idóneos para zonas cálidas, puesto que su eficiencia decrece para zonas que lleguen a muy bajas temperaturas.

En fecha 28 de mayo de 2019, se elaboró un caso práctico en una vivienda unifamiliar en Madrid, comparando 4 tipos de sistemas de climatización y agua caliente sanitaria [37]:

- Caldera de Condensación para Calefacción y Producción de ACS, con apoyo de Colectores Solares Térmicos para el ACS (cobertura del 60%) y refrigeración por Bomba de Calor.
- Bomba de Calor para Calefacción, Refrigeración y ACS.
- Bomba de Calor para Calefacción, Refrigeración y ACS con apoyo de Colectores Solares Térmicos para ACS (cobertura del 60%).
- Bomba de Calor para Calefacción, Refrigeración y ACS con alimentación eléctrica de Paneles Solares Fotovoltaicos (cobertura del 75% en refrigeración y del 50% en calefacción y ACS).

El objetivo de este caso era evaluar el consumo de energía primaria no renovable, renovable y total. Estos vectores energéticos se escogieron siguiendo la sección HE 0 Limitación del consumo energético del borrador del nuevo Código Técnico de Edificación [38]. Los resultados fueron los siguientes:

Vector energético	$C_{ep,nren}$	$C_{ep,ren}$	$C_{ep,tot}$
Opcion a: CC + CST + BdC	83,3	11,1	94,4
Opcion b: BdC	49,7	24,0	73,7
Opcion c: BdC + CST	50,0	25,2	75,2
Opcion d: BdC + PSF	21,2	17,9	39,1

Tabla 6. Consumo total, renovable y no renovable para los distintos casos [37]

Como se puede apreciar, el sistema de bomba de calor combinado con paneles solares fotovoltaicos representaba un menor consumo energético no renovable y total, siendo por tanto el más eficiente y menos contaminante. Es cierto que, en nuestro caso, los paneles solares fotovoltaicos cubrirán el 100% de los 3 consumos y que la ubicación no es Madrid, pero es un buen indicador de que la combinación de estos dos sistemas será promovida e irá sustituyendo a los sistemas de climatización y ACS tradicionales.

Existen diversos tipos de bombas de calor:

- Aerotérmicas: Agua-agua, aire-agua,
- Hidrónicas: agua-agua, agua-aire.
- Geotérmicas: tierra-aire, tierra-agua.

En lo que respecta al sistema de calefacción, se pueden comparar los coeficientes de rendimiento (COP), que resulta de dividir la potencia suministrada entre la potencia consumida. El COP de una caldera de gas se encuentra en torno al 0,9 y el de un radiador eléctrico llega a 1. Las bombas de calor actuales tienen un COP que puede variar entre 2 y 5 [39].

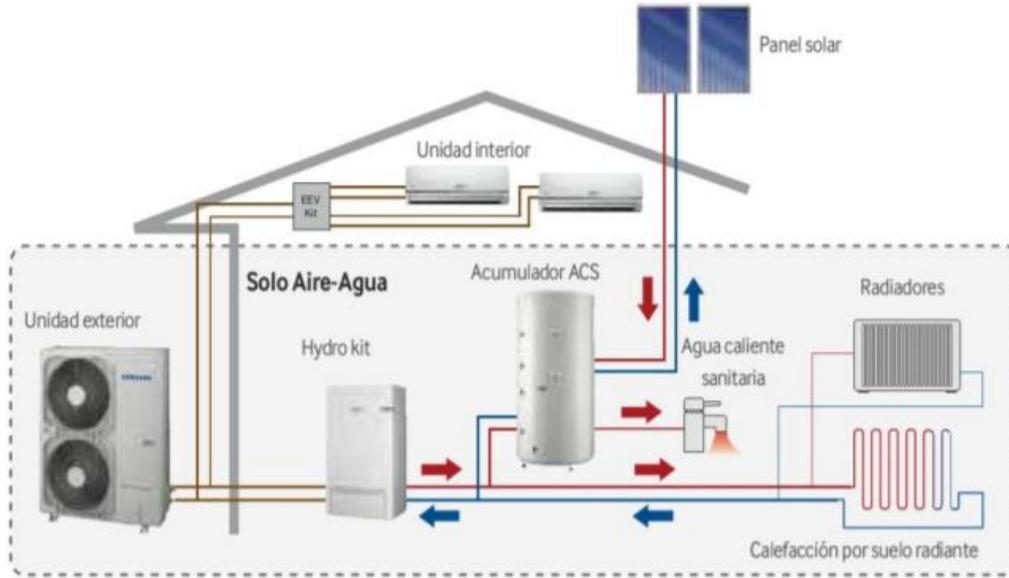


Ilustración 29. Instalación con paneles solares y bomba de calor [40]

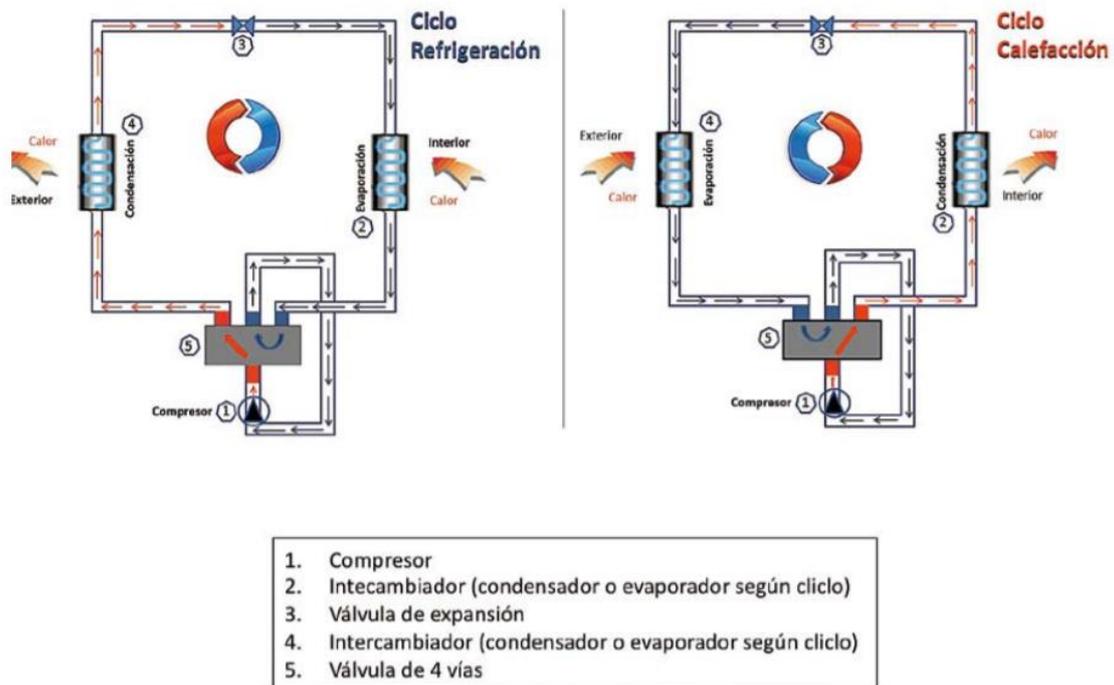


Ilustración 30. Ciclo de calefacción y refrigeración de una bomba de calor [41]

En cuanto a su función para proporcionar ACS, a pesar de tener un coste de inversión más elevado, acaba resultando más rentable en el largo plazo, como se puede ver en la Ilustración 31.

Tipo de energía (costes con IVA)		Bot butano 12,5 kg	
Coste del gas: Energía		0,1095 C/kWh	
Tipo de energía (costes con IVA)		Electricidad	
Coste de la electricidad: Energía		0,1677 C/kWh	
Inflación anual energía		6,00%	
Coefficiente de paso del gas butano		244,00 gr CO2/kWh	
Coefficiente de paso electricidad peninsular		649,00 gr CO2/kWh	

		Termo eléctrico 150 l	Calentador de gas 16 l/min tiro forzado	Bomba de calor de ACS 270 l
Demanda de energía térmica ACS	kWh/año	2.608	2.371	2.681
Rendimiento	%	100%	90%	374%
Consumo de energía final	kWh/año	2.608	2.634	717
Tipo de energía		Electricidad	Butano	Electricidad
Coste anual energía	€/año	437	288	120
Emisiones de CO2	kg CO2/año	1.692	643	465

Coste de los equipos (con IVA)	€	426 €	962 €	3.119 €
--------------------------------	---	-------	-------	---------

Coste de inversión inicial más energía en	5 años	2.891 €	2.588 €	3.797 €
	10 años	6.191 €	4.764 €	4.704 €
	15 años	10.606 €	7.675 €	5.917 €

Ilustración 31. Comparativa entre sistemas de generación ACS [42]

Para el proyecto en cuestión se supondrá la instalación de una vivienda con una bomba de calor VITOCAL 200-S Modelo AWB-AC 201.B (ver ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA). Será de tipo aire-agua capaz de realizar las funciones de climatización (en verano), calefacción (en invierno) y ACS. Se asume que el aire acondicionado se usará durante los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y la calefacción estará activa durante los meses restantes.

En el año 2011, el IDAE [32] publicó el documento “Escala de calificación energético: Edificios existentes” en cuyo anexo VII se formulaba una correlación entre las demandas energéticas de calefacción y refrigeración con las severidades climáticas de invierno (SCI) y verano (SCV) respectivamente:

$$\text{Demanda de calefacción de referencia} = a' + b' * SCI$$

$$\text{Demanda de refrigeración de referencia} = a' + b' * SCV$$

Siendo:

	a'	b'
Viviendas unifamiliares	32,08	117
Bloques de viviendas	20,93	98,56

Tabla 7. Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción de referencia a partir de la severidad climática invierno en edificios destinados a viviendas [34]

	a'	b'
Viviendas unifamiliares	-6,46	33,96
Bloques de viviendas	-5,58	25,13

Tabla 8. Coeficientes de correlación para la demanda de refrigeración de referencia a partir de la severidad climática verano en edificios destinados a viviendas [34]

Según el Documento Básico “DB-HE Ahorro de Energía” [43], las severidades climáticas se pueden relacionar a partir de los grados-día y la radiación global acumulada, tal como se muestra a continuación:

Invierno

$$SCI = a_{inv} * Rad_{inv} + b_{inv} * GD_{inv} + c_{inv} * Rad_{inv} * GD_{inv} + d_{inv} * Rad_{inv}^2 + e_{inv} * GD_{inv}^2 + f_{inv}$$

Siendo:

a	b	c	d	e	f
$-8,35 \cdot 10^{-3}$	$3,72 \cdot 10^{-3}$	$-8,62 \cdot 10^{-6}$	$4,88 \cdot 10^{-5}$	$7,15 \cdot 10^{-7}$	$-6,81 \cdot 10^{-2}$

Tabla 9. Coeficientes correlación severidad climática invierno. (Fuente: [CTE-HE08])

- **GD_{inv}** la media de los grados-día de invierno en base 20 (T_b=20°C) para los meses de octubre a marzo inclusive (solo cogiendo aquellas horas donde T_{i,j,k} sea inferior a T_b):

$$GD_{inv} = \frac{1}{24 * 6} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h (T_b - T_{i,j,k})$$

$$\forall i \in \{\text{octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo}\}$$

$$\forall j \in \{1 \dots \text{último día del mes}\}$$

$$\forall k \in \{1 \dots 24\}$$

- **Rad_{inv}** la media de la radiación global acumulada para los meses de octubre a marzo inclusive [kWh/m²):

$$Rad_{inv} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h Rad_{i,j,k}$$

$$\forall i \in \{\text{octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo}\}$$

$$\forall j \in \{1 \dots \text{último día del mes}\}$$

$$\forall k \in \{1 \dots 24\}$$

Verano

$$SCV = a_{ver} * Rad_{ver} + b_{ver} * GD_{ver} + c_{ver} * Rad_{ver} * GD_{ver} + d_{ver} * Rad_{ver}^2 + e_{ver} * GD_{ver}^2 + f_{ver}$$

Siendo:

a	b	c	d	e	f
$3,724 \cdot 10^{-3}$	$1,409 \cdot 10^{-2}$	$-1,869 \cdot 10^{-5}$	$-2,053 \cdot 10^{-6}$	$-1,389 \cdot 10^{-5}$	$-5,434 \cdot 10^{-1}$

Tabla 10. Coeficientes correlación severidad climática verano. (Fuente: [CTE-HE08])

- **GD_{ver}** la media de los grados-día de invierno en base 20 (T_b=20°C) para los meses de abril a septiembre inclusive (solo cogiendo aquellas horas que T_b sea inferior a T_{i,j,k}):

$$GD_{ver} = \frac{1}{24 * 6} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h (T_{i,j,k} - T_b)$$

$\forall i \in \{abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre\}$

$\forall j \in \{1 \dots \text{último día del mes}\}$

$\forall k \in \{1 \dots 24\}$

- **Rad_{ver}** la media de la radiación global acumulada para los meses de abril a septiembre inclusive [kWh/m²]:

$$Rad_{ver} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^h Rad_{i,j,k}$$

$\forall i \in \{abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre\}$

$\forall j \in \{1 \dots \text{último día del mes}\}$

$\forall k \in \{1 \dots 24\}$

El inconveniente que tiene este cálculo es que se obtiene la demanda anual, mientras que lo que se busca para hacer un correcto dimensionamiento del equipo generador es la curva monótona de demanda. Para obtener dicha curva se aplica la simplificación de la ecuación de segundo orden para el cálculo de la SC mediante la aproximación con polinomio de Taylor en primera derivada [44].

$$f(x, y) \approx f(x_o, y_o) + \frac{\delta f}{\delta x}(x_o, y_o) * (x - x_o) + \frac{\delta f}{\delta y}(x_o, y_o) * (y - y_o)$$

Tras operar y simplificar, se puede calcular la demanda horaria de calefacción (kWh/m²) a partir de la siguiente fórmula:

$$DEI_k \approx \frac{a'}{n_h} + b' * \left[\frac{SCI}{n_h} + SCI'_{Rad} * \left(\frac{Rad_{i,j,k}}{n_m} - \frac{Rad_{inv}}{n_h} \right) + SCI'_{GD} * \left(\frac{(20 - T_{i,j,k})}{24 * n_m} - \frac{GD_{inv}}{n_h} \right) \right]$$

Siendo:

- n_h = número de horas del periodo de invierno (octubre a marzo inclusive)
- n_m = número de mes del periodo de invierno.
- $SCI'_{Rad} = a + c * GD + 2 * d * Rad$
- $SCI'_{GD} = b + c * Rad + 2 * e * GD$

De igual manera, se puede calcular la demanda horaria de refrigeración (kWh/m²) a partir de la siguiente fórmula:

$$DEV_k \approx \frac{a'}{n_h} + b' * \left[\frac{SCV}{n_h} + SCV'_{Rad} * \left(\frac{Rad_{i,j,k}}{n_m} - \frac{Rad_{ver}}{n_h} \right) + SCV'_{GD} * \left(\frac{(20 - T_{i,j,k})}{24 * n_m} - \frac{GD_{ver}}{n_h} \right) \right]$$

Siendo:

- n_h = número de horas del periodo de verano (abril a septiembre inclusive)
- n_m = número de mes del periodo de verano.
- $SCV'_{Rad} = a + c * GD + 2 * d * Rad$
- $SCV'_{GD} = b + c * Rad + 2 * e * GD$

Ambas fórmulas dan como resultado los kWh térmicos que se va a consumir cada hora. Posteriormente hay que dividirlo por el COP (en invierno) y el ERR (en verano) para obtener la energía eléctrica consumida. Estos valores varían en función de la temperatura exterior, la cual conocemos. Por último, hay que multiplicar el valor por los m² de la vivienda.

Para el cálculo de la demanda de ACS horaria se ha tomado la expresión proporcionada por el documento DB-HE del CTE [45], en el que se dan los consumos diarios de ACS considerando acumulación a 60 °C [44]. De manera que la demanda horaria por persona resulta:

$$E_k = \frac{\rho_w * C_w * D_{60^\circ C} * (60 - T_{AFCH})}{24} \text{ kw} * h/\text{persona}$$

Siendo:

- $D_{60^\circ C}$ = Consumo diario de ACS a una temperatura de 60°C (l/día). Al tratarse de una vivienda unifamiliar este valor es 30 l/día*persona [44]
- ρ_w = Densidad del agua (1 kg/l)
- C_w = Calor específico a presión constante del agua ($1,16 * 10^{-3}$ kW/kg*K)
- T_{AFCH} = Temperatura de red (°C). Varía con el mes y la zona. Se puede sacar del HE04

Stand-by

El Stand-by es un consumo derivado de determinados equipos por el simple hecho de estar conectados a una toma de corriente. Por lo general, este consumo representa el 10% del consumo eléctrico total de los electrodomésticos [8]. Los principales equipos que consumen en modo stand-by son los apartados de audio, video, climatización y algunos aparatos de cocina. Se ha obtenido el consumo del standby asumiendo que representa un 10% del consumo total de los aparatos electrodomésticos.

Perfil de consumo

En esta sección se representarán los datos obtenidos a partir del libro Excel teniendo en cuenta todas las estimaciones de los anteriores apartados. Primero se mostrará la Tabla 11 en la que se puede ver la distribución mensual de los tipos de consumos, en kWh y % sobre el total. Posteriormente, en la Ilustración 32 se podrá ver el consumo total horario, para poder apreciar los picos de consumo. En el ANEXO 1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE CONSUMO se mostrará, la distribución de los consumos horarios de cada mes, para poder apreciar mejor las variaciones horarias y las contribuciones de cada tipo de consumo a lo largo del mes.

El consumo total anual es de 5801 kWh, dando lugar a una media de 0,66 kWh al día. Se ha de tener en cuenta que se ha simulado con los datos climatológicos del año 2016, que eran los últimos disponibles, y al ser año bisiesto cuenta con 366 días. Se puede apreciar que el mes con mayor consumo es marzo, llegando a consumirse 663,17 kWh. Sin embargo, tal como se puede ver en la Ilustración 32, el pico horario de demanda se produce en el mes de septiembre, concretamente el día 5 de septiembre, llegando a un consumo de 1,557 kWh. En las horas nocturnas de menor consumo se llega a los 0,219 kWh. El mes de abril es el mes con menor consumo, llegando tan solo a 383,58 kWh.

Los aparatos son el grupo que presentan un mayor consumo, llegando a representar un 55,73% del consumo total anual. Los consumos de la bomba de calor llegan a representar un total del 35% del consumo total anual (16,66% calefacción, 7,33% refrigeración y 11,01% ACS). Finalmente tenemos los consumos de iluminación y standby, que llegan tan solo al 3,69% y 5,57% respectivamente del consumo anual.

	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Aparatos		Standby		Total
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh
Enero	154,73	28,70%	0,00	0,00%	58,35	10,82%	24,80	4,60%	273,92	50,80%	27,39	5,08%	539,19
Febrero	193,40	35,11%	0,00	0,00%	54,58	9,91%	20,90	3,79%	256,25	46,53%	25,62	4,65%	550,75
Marzo	286,12	43,14%	0,00	0,00%	57,13	8,61%	18,60	2,80%	273,92	41,31%	27,39	4,13%	663,17
Abril	0,00	0,00%	23,37	6,09%	54,11	14,11%	14,50	3,78%	265,08	69,11%	26,51	6,91%	383,58
Mayo	0,00	0,00%	33,53	8,37%	53,48	13,35%	12,40	3,09%	273,92	68,36%	27,39	6,84%	400,73
Junio	0,00	0,00%	62,48	15,04%	49,41	11,89%	12,00	2,89%	265,08	63,80%	26,51	6,38%	415,48
Julio	0,00	0,00%	102,00	21,91%	49,84	10,71%	12,40	2,66%	273,92	58,84%	27,39	5,88%	465,55
Agosto	0,00	0,00%	107,28	22,83%	48,62	10,35%	12,60	2,68%	273,92	58,30%	27,39	5,83%	469,81
Septiembre	0,00	0,00%	96,45	21,26%	48,23	10,63%	17,50	3,86%	265,08	58,42%	26,51	5,84%	453,77
Octubre	56,11	13,03%	0,00	0,00%	52,27	12,14%	20,90	4,85%	273,92	63,62%	27,39	6,36%	430,59
Noviembre	127,96	25,77%	0,00	0,00%	54,11	10,90%	22,90	4,61%	265,08	53,38%	26,51	5,34%	496,57
Diciembre	147,94	27,79%	0,00	0,00%	58,35	10,96%	24,80	4,66%	273,92	51,45%	27,39	5,14%	532,40
Anual	966,27	16,66%	425,11	7,33%	638,48	11,01%	214,30	3,69%	3234,03	55,74%	323,40	5,57%	5801,59

Tabla 11. Distribución de consumo mensual

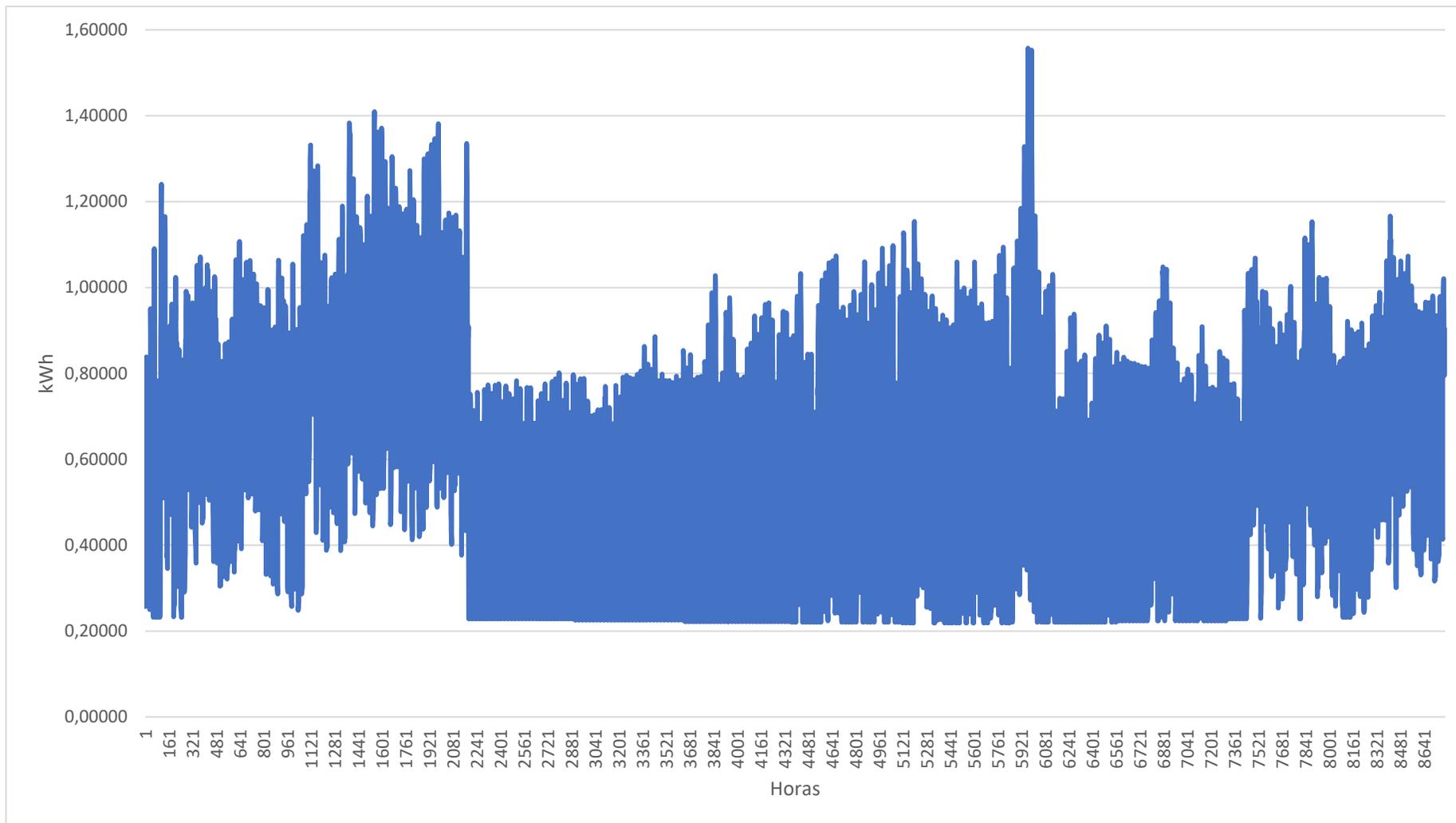


Ilustración 32. Demanda total horaria

PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA

Software PVsyst 6.7.3

Para el diseño de la instalación solar fotovoltaica que cubrirá la demanda de la vivienda se ha decidido utilizar el programa PVsyst 6.7.3. Dicho programa de gran potencia y reputación es usado en numerosas empresas del sector fotovoltaico para estimar la producción de energía. Permite tanto la simulación de plantas *utility-scale* (Multimegavatio), así como instalaciones más pequeñas aisladas de la red, instalaciones para sistemas de bombeo o incluso instalaciones conectados a la red de corriente continua.

Para nuestro proyecto se hará un diseño para una vivienda aislada de la red. Al igual que otros programas de diseño se deberán establecer una serie de entradas con las que el programa podrá dar unas determinadas salidas. A continuación, se muestra la interfaz principal del diseño aislado de la red.

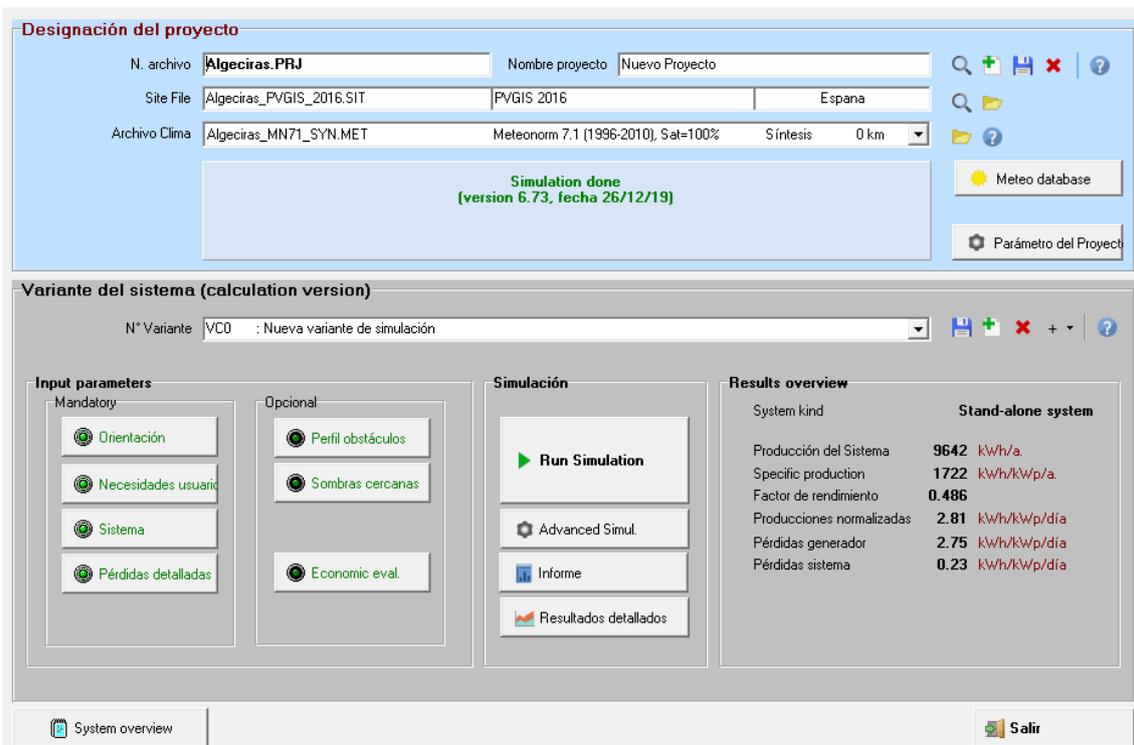


Ilustración 33. Interfaz del diseño de proyecto aislado de la red

El objetivo principal del diseño es obtener la instalación de menor potencia que cumpla con la demanda horaria de todo el año. Con ello se pretende que la instalación sea lo más eficiente, o lo que es lo mismo, que sea lo más barata y pequeña posible.

Lugar y meteo

Se introducirá el lugar geográfico donde se vaya a localizar la vivienda. Dependiendo de la zona en la que se encuentre habrá una determinada radiación y temperatura a lo largo del año. PVsyst permite añadir zonas geográficas concretas o utilizar las predefinidas en la base de datos.

Como los valores de Algeciras no están predefinidos habrá que sacarlos de una base de datos. En este caso se obtendrán los datos de radiación y temperatura de la base PV-GIS [46] para plano horizontal, resultado de varias décadas de investigación por parte de numerosos organismos y centros de investigación de diferentes países. En la Tabla 12 se muestran las coordenadas

aproximadas de la vivienda, junto con los valores mensuales medios de radiación (kWh/m²) y temperatura (°C) para la ciudad de Algeciras en el año 2016 (Tabla 13).

LOCALIDAD	ALGECIRAS
LATITUD	36° 11' N
LONGITUD	-5° 25' W
ALTITUD	11

Tabla 12. Ubicación de la vivienda

MES	Rad. Global mensual (kWh/m²)	Rad. Difuso mensual (kWh/m²)	Temperatura media (°C)
ENERO	78,2	29,7	15,0
FEBRERO	100,9	40,4	13,9
MARZO	172,5	46,6	13,6
ABRIL	176,5	63,5	16,2
MAYO	217,9	65,4	18,5
JUNIO	246,8	61,7	22,8
JULIO	245,2	61,3	25,7
AGOSTO	223,5	53,6	25,7
SEPTIEMBRE	179,3	46,6	23,7
OCTUBRE	129,6	42,8	20,5
NOVIEMBRE	88,0	31,7	15,9
DICIEMBRE	80,8	27,5	14,2
ANUAL	1939,2	570,8	18,8

Tabla 13. Irradiación y temperatura del centro meteorológico de Algeciras

Orientación

La primera decisión a tomar es el tipo de estructura que va a tener nuestra instalación. Se pueden categorizar en 3 grupos. Estructura fija, estructura de seguimiento a un eje y estructura de seguimiento a dos ejes. La gran mayoría de las instalaciones de autoconsumo utilizadas a nivel residencial son estructuras fijas. Éstas cuentan con la ventaja de no tener un motor, por lo que tienen un menor coste y nivel de mantenimiento. Sin embargo, las estructuras con seguimiento cuentan con la ventaja de tener más horas de radiación horizontal, obteniendo una mayor producción y por tanto una mayor eficiencia. Esto es más propio de las plantas *utility-scale*.

Tras haber establecido que nuestra estructura será de plano inclinado fijo se pasa a establecer la orientación de los módulos, la cual se define a partir de dos ángulos. El ángulo de inclinación de los paneles con respecto al plano del suelo (tilt) y el ángulo del eje horizontal con el eje Norte-Sur de la Tierra (acimut). Teniendo en cuenta la localización de Algeciras en la Tierra, se sabe

que el Sol hará un recorrido de este a oeste, incidiendo desde el sur. Por ello es interesante que el tilt sea superior a cero, para que la radiación sea más directa. Esto se puede dar puesto que el tejado de la vivienda será completamente plano. El programa permite la optimización de dichos ángulos para 3 etapas (anual, invierno o verano). Para optimizar la producción a nivel anual se determina que el tilt debe tener un valor de 32° . Sin embargo, esto no implica que sea el que mejor se adapte a la curva de demanda horaria, sino que será el que de una mayor producción anual. Es por ello que habrá que realizar simulaciones con los 3 ángulos óptimos. Para optimizar la producción de verano los paneles deberá tener una inclinación de unos 16° y para optimizarla en invierno unos 55° (existe un pequeño margen pero con esos valores el programa indica que no hay pérdidas respecto al óptimo durante esa estación, tal como se ve en la Ilustración 34, Ilustración 35 y la Ilustración 36). Para los 3 casos se aprecia que el azimut óptimo debe ser 0° .

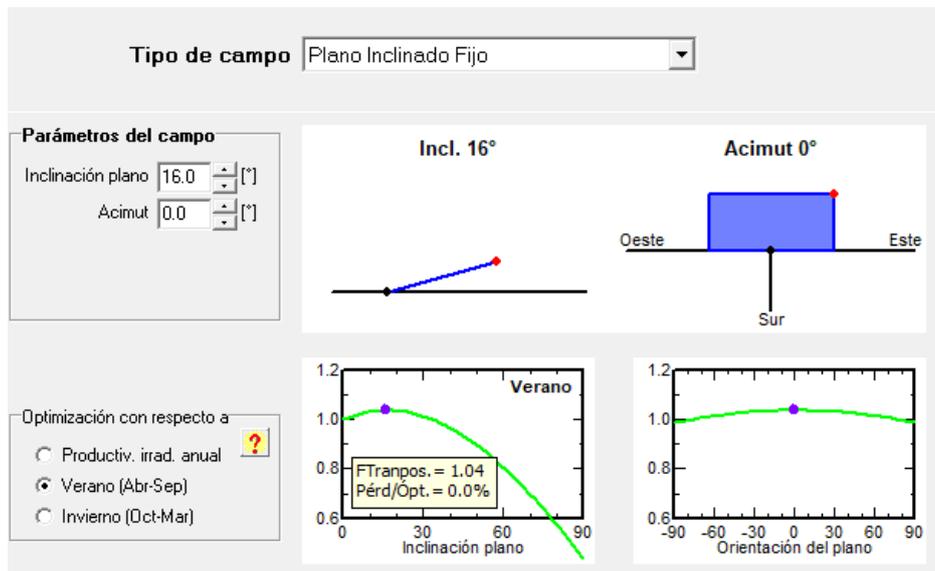


Ilustración 34. Ángulo de optimización de producción en verano

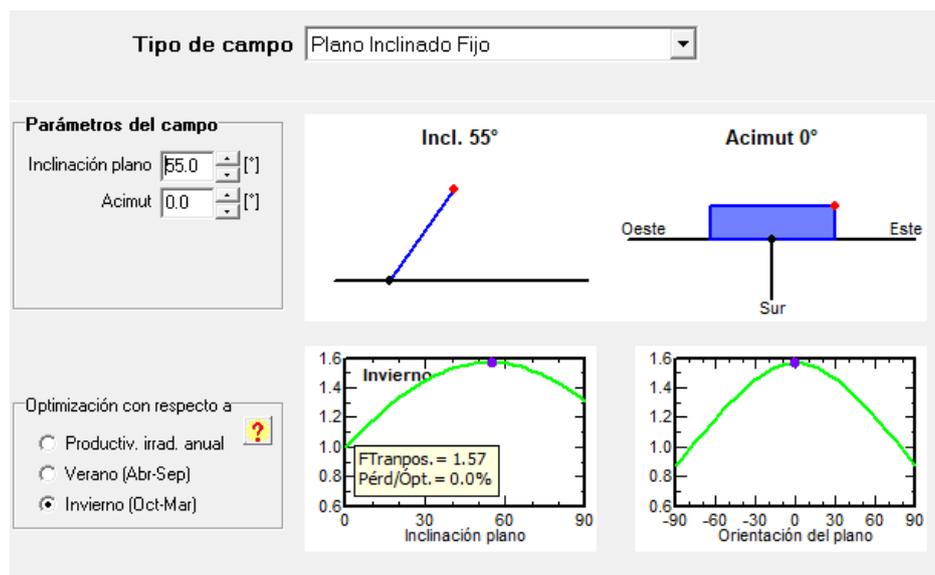


Ilustración 35. Ángulo de optimización de producción en invierno

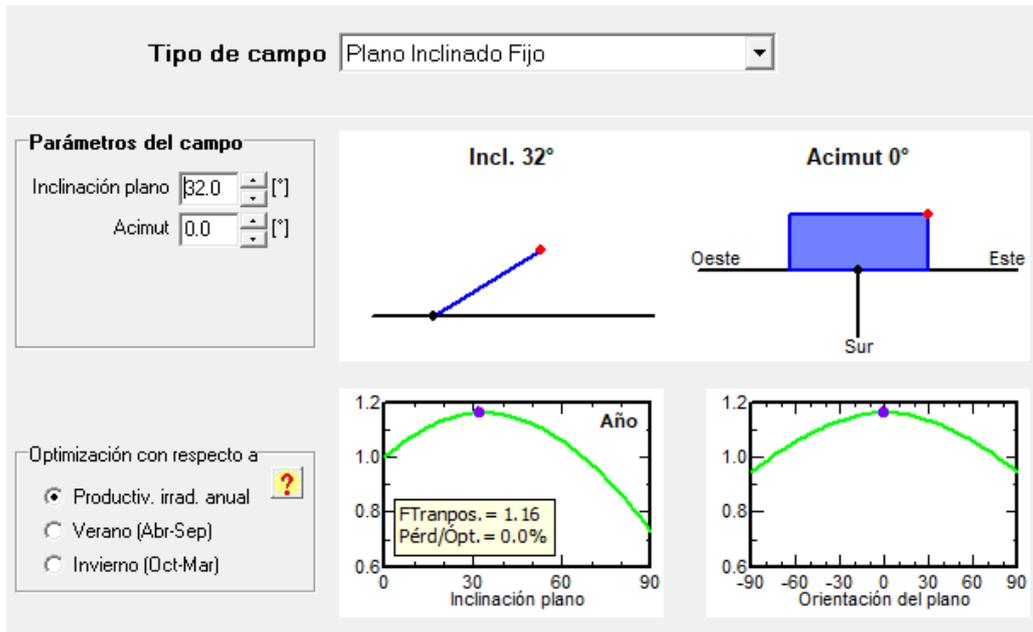


Ilustración 36. Ángulo de optimización de producción anual

Con objeto de determinar el ángulo de inclinación óptimo, se realizará la simulación para el mismo sistema (generador, baterías y regulador de carga), variando la inclinación hasta comprobar cual cubre mejor la demanda. Esto se verá reflejado en el apartado Simulación e informe.

Necesidades de los usuarios

El programa permite establecer diferentes perfiles de consumos, como se puede ver en la Ilustración 37. Desde una demanda constante a lo largo del año hasta la lectura de un documento CSV con el consumo horario. Este último será el modelo escogido, que será mucho más preciso y que se ha obtenido en el apartado Perfil de consumo. El programa no coge la demanda del día 29 de febrero, lo cual hace que la demanda anual pase de 5801 kWh a 5781 kWh al año.

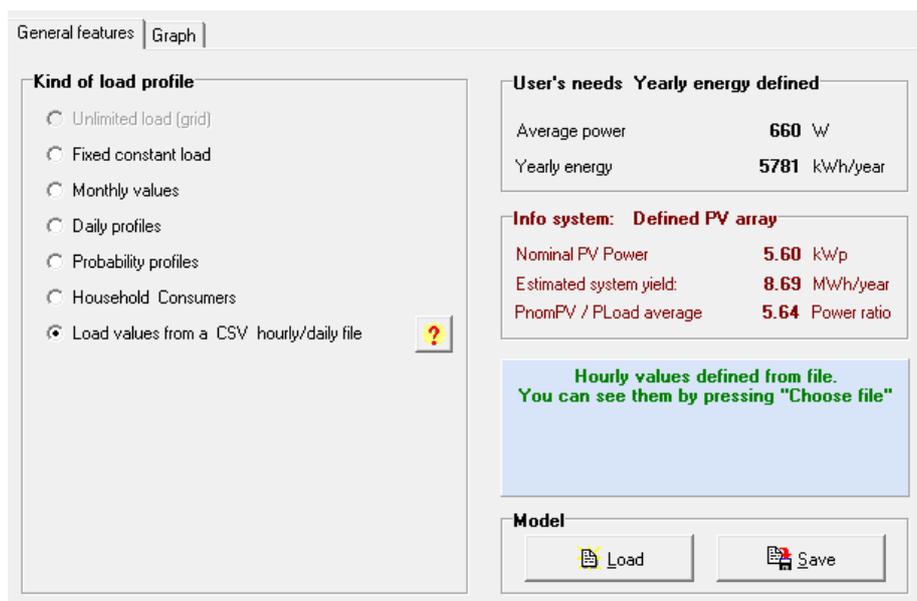


Ilustración 37. Tipos de perfiles de consumo

Sistema

En este apartado el programa sugiere que potencia pico y que capacidad debe tener el sistema de almacenamiento para cumplir la demanda, teniendo en cuenta los *inputs* establecidos hasta el momento más 3 *inputs* nuevos a introducir, que son los siguientes:

Días de autonomía requeridos

Este valor indicará el número de días que el sistema de almacenamiento debe proveer de energía sin ser cargadas por el equipo fotovoltaico. Cuantos más días de autonomía se establezcan, mayor será la capacidad requerida por las baterías resultando en un aumento del precio de las mismas. Sin embargo, se reduce la potencia requerida de los paneles solares, o lo que es lo mismo, una reducción de inversión en éstas. Como el precio total de las baterías resulta mayor que el de los módulos, interesa que la capacidad sea la mínima posible, es decir, que los días de autonomía sean lo más bajo posible. Es por ello por lo que se establece 3 días de autonomía, que es lo mínimo recomendado por el IDAE [8].

Probabilidad de pérdida de carga (“Loss-of-load probability” or “PLOL”)

Este factor de fiabilidad indica la probabilidad de que el sistema no cumpla con la demanda de la vivienda. Corresponde al tiempo en el que la batería está desconectada debido a que el regulador señala que la carga de batería es baja.

El valor por defecto es de 5%, el cual se considera aceptable, indicando que en todo el año hay un 5% de posibilidades de no cumplir toda la demanda. Sin embargo, como nuestro sistema va a estar completamente aislado de la red y se ha establecido como objetivo cubrir la demanda horaria anual se va a reducir a un 1%. La reducción de este valor afectará en un aumento de la potencia pico a instalar de los generadores fotovoltaicos, sin afectar a la capacidad de las baterías. El cambio de 5% a 1% ha supuesto un aumento de 0,9 kWp aproximadamente. Es cierto que el hecho de reducir demasiado el PLOL hará que la instalación esté sobredimensionada en la mayor parte de los meses, pero se tendrá una mayor fiabilidad.

Tensión de trabajo de las baterías

Debido a que la potencia a instalar es superior a 5 kW, se estima que la tensión de funcionamiento de las baterías adecuado debe ser de 48V, acorde a lo visto en la Tabla 2. Por otra parte, el propio programa recomienda un valor de tensión de 48V para instalaciones con aparatos de más de 1 kW. A mayor tensión de trabajo se necesita una menor capacidad de almacenamiento.

Una vez fijados estos valores, el programa sugiere un valor de potencia pico de 5,36 kWp y una capacidad (C_{10}) de 1573 Ah.

Parameter	Value
Av. daily needs	15.8 kWh/day
Enter accepted LOL	1.0 %
Enter requested autonomy	3.0 day(s)
Battery (user) voltage	48 V
Suggested capacity	1573 Ah
Suggested PV power	5.36 kWp (nom.)

Generador Fotovoltaico y regulador de carga

Se procede a elegir el tipo de módulos fotovoltaicos y su configuración eléctrica. El programa recomendará el número total de módulos si el objetivo es la potencia pico o el área disponible. A pesar de que el área es un limitante, pues se planea poner los módulos en el tejado, se dimensiona el sistema fijando la potencia pico. Posteriormente se verá si el área obtenida es menor que el área disponible en el tejado.

Lo primero es elegir el modelo del panel solar. Para nuestra instalación se ha elegido el fabricante Canadian Solar, que es un Tier 1 (fabricante de alta calidad-precio, con gran número de ventas y reconocimiento a nivel mundial). Puesto que el precio de los paneles y las dimensiones totales varían poco a medida que aumenta la potencia, se escoge el modelo con mayor potencia, el cual presenta un mayor rendimiento y supondrá un menor espacio ocupado. En este caso, se dispone del modelo CS3W-405P HE. Dicho módulo tiene una potencia pico de 405 Wp, por lo que se necesitará 14 módulos para obtener 5,67 kWp. Posteriormente se elige el regulador de carga, teniendo en cuenta la tensión de trabajo de las baterías (48 V). Por otro lado, la tensión de trabajo, la tensión máxima admisible y la corriente máxima admisible de éste deben soportar la tensión de operación y la tensión y corriente máxima del conjunto de módulos. Para tener un diseño adecuado la relación entre potencia pico y potencia nominal debe andar entre 1,05 y 1,20. Teniendo todo esto en cuenta se elige el modelo VarioTrack VT80 48 V, de la marca Studer, cuya potencia nominal es 5 kWn. Las condiciones de operación del regulador en busca del punto de máxima potencia rondan entre los 54 y 145 V, y la tensión máxima admisible de entrada es de 150 V. La máxima corriente de entrada admisible es 80 A. Si se conectan 7 series (o *Strings*) de 2 módulos en serie (obteniendo un total de 14), se obtiene una potencia pico de 5,67 kWp. Por otro lado, se obtienen los siguientes parámetros de trabajo: $V_{MPP} (60^{\circ}\text{C}) = 67 \text{ V}$; $V_{MPP} (20^{\circ}\text{C}) = 79 \text{ V}$; $V_{OC} (-10^{\circ}\text{C}) = 105 \text{ V}$; $I_{sc} = 76,9 \text{ A}$. Con ello se puede comprobar que la conexión entra dentro de los valores recomendados y el sistema está dimensionado correctamente. A su vez se obtiene un ratio de potencia pico-nominal de 1,13, la cual es aceptable y evita pérdidas de sobrecarga. Por último, se aprecia que el área ocupado por los módulos (31 m^2) es inferior al área del tejado de la vivienda (40 m^2).

The screenshot shows a software interface for PV system design, divided into several sections:

- Storage | Generador FV | Back-up | Schema**: Navigation tabs at the top.
- Sub-array name and Orientation**: Name: "Generador FV", Orient: "Plano Inclinado Fijo", Tilt: "55°", Azimut: "0°".
- Presizing help**: Radio buttons for "No Sizing" and "Enter planned power" (set to 5.4 kWp) or "... or available area" (set to 31 m²). A "Resize" button is present.
- Select the PV module**: "Disponibles actualmente" dropdown, "Sort modules by" (radio buttons for "power" and "technology"), "Canadian Solar Inc." dropdown, "405 Wp 33V Si-poly CS3W-405P HE Since 2019 Preliminary 2019 1" dropdown, and an "Open" button. Summary: "Módulos aprox. necesarios: 13", "Sizing voltages: $V_{mpp} (60^{\circ}\text{C})$ 33.7 V, $V_{oc} (-10^{\circ}\text{C})$ 52.4 V".
- Select the control mode and the controller**: "Universal controller" checkbox, "Studer" dropdown, "MPPT power converter" label, "Max. Charging - Discharging current" label, "MPPT 5.00 kW 48V 80 A 80 A VarioTrack VT80 - 48V" dropdown, and an "Open" button. "Operating mode" options: "Direct coupling", "MPPT converter" (selected), "DC-DC converter". "Number of controllers" set to 1. Summary: "MPP Operating voltage" 54-145 V, "Controller's power" 5.00 kW, "Input maximum voltage" 150 V, "Associated battery" 48 V.
- PV Array design**: "Number of modules and strings" section with "Mod. in serie" (2) and "Nb. strings" (7) dropdowns, and checkboxes for "Between 2 and 2" (checked) and "Between 5 and 8". "Overload loss" 0.0%, "Pnom ratio" 1.13, "Nb modules" 14, "Area" 31 m². "Operating conditions" table: $V_{mpp} (60^{\circ}\text{C})$ 67 V, $V_{mpp} (20^{\circ}\text{C})$ 79 V, $V_{oc} (-10^{\circ}\text{C})$ 105 V, "Plane irradiance" 1000 W/m², $I_{mpp} (STC)$ 73.0 A, $I_{sc} (STC)$ 77.8 A, $I_{sc} (at STC)$ 76.9 A. Summary: "Max. operating power en 1000 W/m² y 50°C" 5.1 kW, "Array's nom. power (STC)" 5.7 kWp.

Ilustración 38. Selección del módulo fotovoltaico y el regulador de carga

Las características principales del módulo solar fotovoltaico son (ver resto de parámetros en ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA):

Características	Valor
Potencia máxima (STC)	405 Wp
Coeficiente de temperatura	-0,37%/°C
Intensidad cortocircuito (Icc)	10,98 A
Coeficiente de temperatura	0,05%/°C
Tensión circuito abierto (Vca)	47,4 V
Coeficiente de temperatura	-0,29%/°C
Intensidad punto máxima potencia (STC)	10,42 A
Tensión punto máxima potencia (STC)	38,9 V
Eficiencia del módulo (STC)	18,33 %
HxWxD (mm)	2,108 x1,048x40
Peso	24,9 kg

Tabla 14. Características principales del módulo CS3W-405P HE

Las características principales del regulador de carga son (ver resto de parámetros en ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA):

Características	Valor
Potencia	5000 Wn
Máxima corriente de carga 25°C/40°C	80 A/75 A
Tensión del grupo de baterías	48 V
Mínima/máxima tensión de MPP	54 V/145 V
Máxima tensión de las series	150 V
Máxima eficiencia	>99 %
HxWxD (mm)	120x220x350
Peso	5,5 kg

Tabla 15. Características principales del regulador de carga VarioTrack VT80 - 48 V

Estructura soporte

Para la colocación de los módulos se ha elegido una estructura fija inclinada doble FV925 – FV925XL, de la marca Sunfer, para colocar 7 series de 2 módulos en vertical (conexión 2V). Esto permitirá que los módulos entren por completo en el tejado y al no tener más de una fila no se darán sombra entre ellos. El largo total de la instalación será de $7 \times 1,05 = 7,35$ metros, y una profundidad de $2 \times 2,11 \times \cos(55^\circ) = 2,42$ m. Por lo que entra en el tejado de 10×4 m².



Ilustración 39. Estructura fija inclinada 2V FV325-FV925XL [47]

Cuadros de agrupación

Debido a que el regulador escogido solo tiene dos entradas (positivo y negativo) para los paneles solares y otras dos entradas (positivo y negativo) para las baterías, se necesita que el cableado de los paneles quede agrupado. Se utilizará un cuadro de agrupación STC8 100 A, con 8 entradas. Del cuadro de agrupación partirán dos conductores (positivo y negativo) al regulador. Se escoge este modelo puesto que la intensidad de cortocircuito de cada serie será de 10,98 A, y la tensión de circuito abierto es $2 \times 47,2 = 94,4$ V, ambas menores que los límites del cuadro. A continuación, se muestran sus principales características (ver resto de parámetros en ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA):

Características	Tipo de valores
Tensión máxima de uso	1000 V _{DC}
Corriente máxima de uso	100 A
Tensión de aislamiento	1000 V _{DC}
Dimensiones H x W x D (mm)	380 x 760 x 225

Tabla 16. Características principales cuadro de agrupación STC8 100 A

Almacenamiento

Se elegirá el modelo de batería acorde con la capacidad C_{10} recomendada por el programa. En nuestro caso necesitamos un total de 1573 Ah. Para las instalaciones solares fotovoltaicas existen 5 tipos de baterías [48]:

- Solar Monoblock: este tipo resulta la más sencilla y económica. Son baterías de plomo ácido que requieren un mantenimiento controlando, asegurando que el nivel de agua destilada del interior de la batería se encuentra en los niveles recomendados por el fabricante. Además, requieren estar en zonas ventiladas ya que emiten gases durante su uso. Son recomendadas para consumos sencillos como televisión, luz y cualquier dispositivo que no disponga de un motor. El principal inconveniente es que no soporta picos de arranque como los propios de neveras, frigoríficos y lavadoras. Por esta razón, no es conveniente para nuestra vivienda. Su vida útil no supera los 3-5 años, y si se usara con consumos con motores podría no llegar ni al año de vida.

- AGM: Estas baterías, también de plomo ácido, se caracterizan por estar selladas, por lo que no requieren un alto nivel de mantenimiento y además pueden soportar los picos de demanda, a diferencia de las baterías monoblock. La vida útil estimada para estas baterías es de 6 a 8 años.
- Gel: este tipo de baterías son recomendadas por su relación calidad-vida útil, la cual es superior que las baterías AGM. Al igual que éstas, son selladas y no necesitan ningún tipo de mantenimiento. Pueden llegar a durar entre 9 y 12 años según su uso. La diferencia con las AGM es que al estar formadas por un compuesto gelificado pueden colocarse de lado y aguantar mejor las bajas temperaturas.
- Baterías estacionarias: dentro de este grupo se encuentran 3 subgrupos. Las baterías OPZS, TOPZS y OPZV. Se caracterizan por estar formadas por vasos/torres de 2 V que se conectan entre ellas para llegar a los 12 V, 24 V o 48 V. A pesar de tener un elevado coste tienen una vida útil media de 20 años.
- Litio: A diferencia de las anteriores baterías, las baterías de litio son capaces de cargarse y descargarse al 100% sin comprometer su vida útil. El gran inconveniente de este tipo de baterías es que a día de hoy su precio es considerablemente más elevado que las anteriores

Con todo esto en mente, se ha decidido utilizar baterías estacionarias, ya que así se evitará hacer una nueva inversión, puesto que las placas solares también tienen una vida útil de unos 20 años. Se ha optado por el modelo 2V VRLA-GEL BAE SECURA OPzV 1375, hecha de gel de plomo sellado. Al ser elementos de 2 V y con una capacidad C_{10} de 1570 Ah se conectarán 24 baterías en serie para obtener una tensión total de 48 V y una capacidad total igual 1570 Ah. Se asumirá que la temperatura de trabajo es 20°C puesto que estarán dentro de una caseta.

Storage | **Generador FV** | Back-up | Schema

Procedure

The Pre-sizing suggestions are based on the Monthly meteo and the user's needs definition

1. - Pre-sizing Define the desired Pre-sizing conditions (LOL, Autonomy, Battery voltage)
2. - Storage Define the battery pack (default checkboxes will approach the pre-sizing)
3. - PV Array design Design the PV array (PV module) and the control mode. You are advised to begin with a universal controller.
4. - Back-up Define an eventual Genset

Specify the Battery set

Sort Batteries by voltage capacity manufacturer

B&E Secura 2V 1570 Ah Pb Sealed Gel Secura OPzV 1375 Since 2016  

Pb-ácido

<input type="text" value="24"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Batterys in serie	Number of batteries	24	Battery pack voltage	48 V
<input type="text" value="1"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Batterys in parallel	Number of elements	24	Global capacity	1570 Ah
				Stored energy (80% DOD)	60.3 kWh
				Total weight	2597 kg
				Nb. cycles at 50% DOD	2411
				Total stored energy during the battery life	98.6 MWh

Operating battery temperature

Temper. mode

Fixed temperature °C

The battery temperature is important for the ageing of the battery. An increase of 10 °C divides the "static" battery life by a factor of 2.

Ilustración 40. Selección del equipo de almacenamiento

Las características principales de la batería son las siguientes (ver resto de parámetros en ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA):

Características	Tipo de valores
Dimensiones, DxWxH (mm)	215x277x855
Peso (kg)	108,2
Voltaje nominal	2 V
C ₁₀ 20°C 1.80 V _{pc} V/C	1570 Ah

Tabla 17. Características principales de la batería 2V VRLA-GEL BAE SECURA OPzV 1375

Grupo electrógeno

Existe la posibilidad de conectar un grupo electrógeno, pero una de las hipótesis del proyecto es que tan solo se utilizarán fuentes renovables, por lo que la función de este equipo no será necesario.

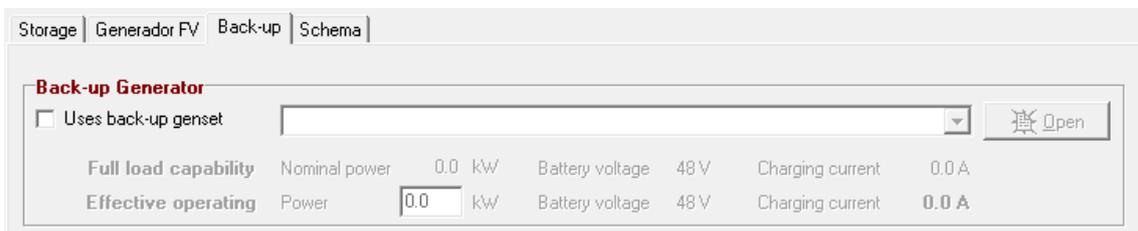


Ilustración 41. Selección del grupo electrógeno

Esquema

El esquema de la instalación fotovoltaica será como el que se muestra en la Ilustración 42, pero con la diferencia de que habrá un inversor para convertir la corriente continua de los paneles y las baterías en corriente alterna, justo antes de los consumos.

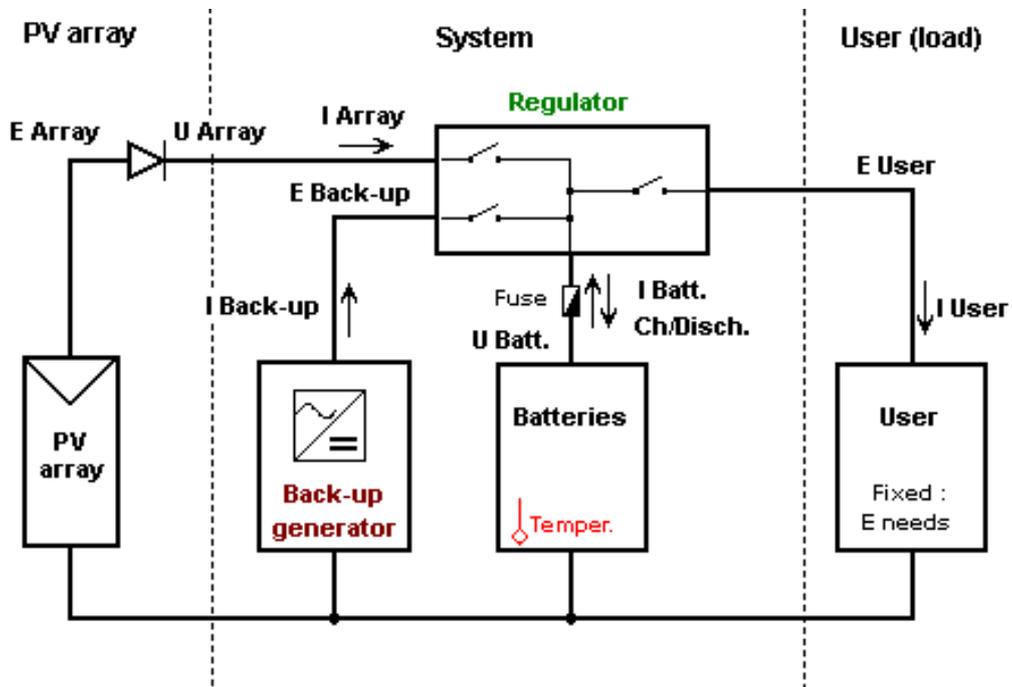


Ilustración 42. Esquema de la instalación solar fotovoltaica

Inversor

Para escoger el inversor, habrá que conocer la potencia máxima demandada por las cargas de la vivienda, y cuál será la corriente continua de entrada del inversor. Para ello, se ha utilizado la normativa ITC-BT-25 [35] sobre circuitos de instalaciones interiores de viviendas, obteniendo así los resultados de la Tabla 18. Se estimará la potencia total de todos los consumos y se aplicarán los factores de simultaneidad (relación de receptores conectados al mismo tiempo) y de utilización (factor medio de utilización de potencia máxima del receptor). Los valores que no se conocían se han estimado teniendo en cuenta las características de los receptores.

Circuito	Consumo	Potencia instalada (W)	Factor simultaneidad (Fs)	Factor utilización (Fu)	Potencia demandada (W)
1	Iluminación	133	0,75	0,50	50
2	Tomas uso general, frigorífico	2.900	0,20	0,25	145
3	Cocina, horno	3.000	0,50	0,75	1125
4	Lavadora, lavajillas	2.400	0,66	0,75	1188
5	Baños (ACS)	1.150	0,40	0,50	230
6	Calefacción	1.150	0,70	0,50	403
7	Aire acondicionado	1.100	0,70	0,50	385
8	Secadora	1.500	1,00	0,75	1125

Tabla 18. Estimación de potencia total de la vivienda

Con los resultados obtenidos de la Tabla 18, se conoce la potencia total demandada por la vivienda. Sin embargo, se necesita conocer el rendimiento del inversor para obtener la potencia consumida por este. Se ha seleccionado el inversor Sunny Island 8.0H. Dicho inversor cargador bidireccional se utiliza para instalaciones renovables tanto aisladas como conectadas a la red. A continuación, se muestran sus principales características (el resto de las características se podrán consultar en la sección de ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA):

Características	Tipo de valores
Tensión nominal AC	230 V/De 202 V a 253 V
Frecuencia AC	50/De 45 Hz a 60 Hz
Potencia asignada (a Unom, fnom/25 °C/cos $\phi = 1$)	6000 W
Potencia de CA a 25 °C durante 30 min/5 min/3 s	8000 W/ 9100W/ 11000W
Potencia de CA a 45 °C	5430 W
Corriente asignada/Corriente de salida máxima (pico)	26 A/ 120 A
Tensión asignada de entrada/Rango de tensión CC	48 V/De 41 V a 63 V
Corriente de carga máx. de la batería/de carga asignada de CC/de descarga asignada de CC	140 A/115 A/130 A
Tipo de batería/Capacidad de la batería (rango)	iones litio ¹), FLA, VRLA/ De 100 Ah a 10000 Ah (plomo) De 50 Ah a 10000 Ah (iones litio)
Rendimiento pico	96%
Dimensiones W x H x D (mm)	467 x 612 x 242
Peso (kg)	63 kg

Tabla 19. Características principales inversor Sunny Island 8.0H

Se procede a calcular la potencia máxima que deberá soportar el inversor y la corriente continua de entrada:

$$P_{inv} = \frac{P_{demanda}}{\eta_{inv}} * = \frac{4.651}{0,96} * = 4,845 \text{ kW}$$

$$I_{inv,DC} = \frac{P_{inv}}{V_{DC}} * = \frac{4.855}{48} = 101 \text{ A}$$

Pérdidas detalladas

Parámetros térmicos

Las propiedades de los módulos que son proporcionadas por los fabricantes son determinadas para unas condiciones estándares de prueba (STC), que se da cuando hay una irradiación de 1000 W/m², un espectro 1,5 AM y las células se encuentran a una temperatura de 25°C. Como es de esperar, durante el día los paneles se van calentando debido a la radiación y alcanzan temperaturas muy superiores a los 25°C, por lo que las propiedades de los módulos difieren de las marcadas en las fichas técnicas.

El comportamiento térmico del emplazamiento – que influye considerablemente el rendimiento eléctrico – es determinado por el balance energético entre la temperatura ambiente y el calentamiento de las células debido a la irradiación solar:

$$U * (T_{CÉLULA} - T_{AMB}) = \alpha * G_{INC} * (1 - Effic)$$

Siendo:

- U: coeficiente de pérdida térmica [W/m²K]
- T_{CÉLULA}; T_{AMB}: temperaturas del módulo y del ambiente [K]
- α: coeficiente de absorción térmico [adimensional]
- G_{INC}: irradiación solar [W/m²]
- Effic: eficiencia del módulo [adimensional]

El comportamiento térmico de las células viene determinado por el factor de pérdida térmica U [W/m²K], que a su vez se puede dividir en un componente constante U_c [W/m²K] y un componente proporcional a la velocidad del viento U_v [W/(m²K*m/s)].

$$U = U_c + U_v * v$$

El programa PVsyst indica que los valores recomendados para instalaciones montadas en un edificio, sin cobertura trasera y con libre circulación de aire son de U_c= 20 y U_v = 0.

Parámetros térmicos | Pérdida óhmica | Calidad módulos · LID · Mismatch | Polvo y suciedad | Pérdidas IAM

¡Usted puede definir el factor de pérdidas térmicas del generador o el coeficiente estándar TONC: el programa le dará la equivalencia!

Factor de pérdidas térmicas del campo
 Factor de pérdidas térmicas $U = U_c + U_v \cdot v$ **Ve Viento**
 Factor de pérdida constante U_c 20.0 W/m²K ?
 Factor de pérdida del viento U_v 0.0 W/m²K / m/s

Valores por defecto según montaje

Módulos montados "al aire libre" con circulación de aire
 Semi-integrado con conducto de aire detrás
 Integración con aislamiento trasero completo

NOCT equivalent factor
 NOCT (Nominal Operating Cell temperature) is often specified by manufacturers for the module itself. This is an alternative information to the U-value definition which doesn't make sense when applied to the operating array.

Don't use the NOCT approach. This is quite confusing when applied to an array !

See the NOCT anyway ?

Ilustración 43. Pérdidas térmicas

Pérdida óhmica

Estas pérdidas son las que se dan en el cableado de corriente del sistema debido al efecto Joule ($P = I^2 * R$). PVSyst permite establecer la fracción de pérdida de carga en un porcentaje, o realizar el cálculo detallado teniendo en cuenta la caída de tensión establecida y la longitud y seccionamiento de los cables. Puesto que el IDAE ya recomienda que la caída de tensión desde el generador a las baterías sea de 1,5%, se escogerá este valor. Por otro lado, se estima que la caída de tensión de los diodos sea de 0,7 V, el cual es el valor típico de estos dispositivos.

Parámetros térmicos | **Pérdida óhmica** | Calidad módulos - LID - Mismatch | Polvo y suciedad | Pérdidas IAM

Circuito CC: pérdidas óhmicas en el generador

Specified by

Resistencia global en el : 16.1 mOhm Calculada

Loss fraction at STC 1.50 % Defecto

Caída de Tensión a través del diodo 0.7 V Defecto

Cálculo detallado

Ilustración 44. Pérdidas óhmicas

Calidad de los módulos, LID y Mismatch

El primero se debe a la desviación del rendimiento real del módulo con respecto a los resultados obtenidos por el fabricante. El valor escogido será el recomendado por el programa, que es la mitad de la tolerancia inferior, significando que la potencia media entregada por el módulo estará entre la tolerancia inferior y el valor nominal. En este caso valdrá -0,3%. El valor negativo indica que se espera que el rendimiento real sea superior al establecido por el fabricante.

En segundo lugar, tenemos las pérdidas por LID (*Light Induced Degradation*), que se da en paneles cristalinos. Este efecto se produce en las primeras horas de luz donde las condiciones de trabajo difieren de las condiciones de pruebas de los fabricantes, dando lugar a pérdidas en torno al 1%-3%. Para nuestra simulación si ha estimado un valor por defecto de 2%.

En cuanto a las pérdidas de *mismatch*, se deben a la diferencia entre los distintos rendimientos de paneles solares dentro de un mismo lote. No todos los módulos se degradan lo mismo con el tiempo, o tienen el mismo porcentaje de sombreado a lo largo del año. Estas diferencias hacen que cada *string* trabaje en unas condiciones diferentes, dando lugar a pérdidas por *missmatch*. Por ejemplo, el módulo del *string* que genere el nivel más bajo de corriente forzaré la corriente de los demás módulos dentro del *string*. Como es prácticamente imposible que todos los módulos tengan idénticas prestaciones, significará que diferirán en sus parámetros de I_{sc} , V_{co} , P_{mpp} , los cuales han sido estimados a partir de ensayos estadísticos por los fabricantes. El programa permite realizar simulaciones para distintas condiciones de trabajo con la conexión de módulos elegida para obtener una estimación de pérdidas por *mismatch*. Se comprueba que el valor de *mismatch* para una radiación de 220 W/m^2 (que es la media anual), y una temperatura de operación de 50°C se sitúa en torno al 1%. Como se dispone de un regulador con MPPT, las pérdidas por funcionamiento a tensión fija no se tendrán en cuenta, por lo que se deja la de defecto. Por último, se produce un *missmatch* debido a que el regulador establece un valor de tensión para todos los *strings*, pudiendo no ser la tensión óptima en distintos *strings*. Sin embargo, estas pérdidas son casi despreciables llegando a suponer tan solo un 0,1%.

The screenshot shows a software interface with four panels under the 'Calidad módulos - LID - Mismatch' tab:

- Calidad módulos:** 'Pérdida eficiencia módulo' is set to -0.3% with a checked 'defecto' checkbox. Description: 'Desviación de la eficiencia efectiva media del módulo con respecto a las especificaciones del fabricante. (valor negativo indica un mejor rendimiento)'. A help icon is present.
- LID - "Light Induced Degradation":** 'Factor de pérdidas LID' is set to 2.0% with an unchecked 'defecto' checkbox. Description: 'Degradación de módulos de silicio cristalino, en las primeras horas de funcionamiento con respecto a los valores de producción STC.'. A help icon is present.
- Modules mismatch losses:** 'Pérdidas Potencia en MPP' is set to 1.0% with a checked 'defecto' checkbox. 'Pérdidas funcionamiento en tensión f_i' is set to 2.5% with a checked 'defecto' checkbox. Description: 'No pertinente durante el funcionamiento MPPT'. A 'Cálculo detallado' button and a help icon are present.
- Strings voltage mismatch:** 'Power Loss at MPP' is set to 0.1% with a checked 'Default' checkbox. A 'Detailed study' button and a help icon are present.

Ilustración 45. Pérdidas por calidad de módulos, LID y mismatch

Polvo y suciedad

Tanto el polvo, como la contaminación o los excrementos de aves, pueden reducir la eficiencia de los módulos. Para zonas rurales es prácticamente despreciables, sin embargo, para instalaciones localizadas cerca de zonas industriales o ciudades con mucha contaminación este valor puede ser mayor. Por otra parte, las zonas con mucha lluvia ayudan a que los paneles se mantengan más limpios que en zonas secas o áridas. Para la vivienda a estudiar, que se encuentra alejada de grandes ciudades o zonas industriales, pero que no hay mucha lluvia, se asumirá una pérdida del 3%.

The screenshot shows the 'Polvo y suciedad' panel in the software interface:

- Factor pérd. anual por polvo y suciedad:** 'Factor de pérdida anual' is set to 3.0% with a checked 'Default' checkbox.
- There is an unchecked checkbox labeled 'Definir val. mensuales' and a help icon.

Ilustración 46. Pérdidas por polvo y suciedad

Pérdidas IAM

El efecto de incidencia ("Incidence Angle Modifier" o "IAM") corresponde con la reducción de radiación que alcanza realmente la superficie de los paneles fotovoltaicos, con respecto a la radiación bajo la incidencia normal, debido al aumento de la radiación reflejada al variar el ángulo de incidencia. Según las leyes de Fresnel, cuando la luz atraviesa dos cuerpos con diferente índice de refracción existe una cantidad de luz que se refleja, otra que se absorbe y otra que atraviesa el cuerpo. Debido a la complejidad del cálculo de las numerosas refracciones que se producen entre el cristal protector y las células fotovoltaicas, se puede utilizar una aproximación paramétrica llamada ASHRAE, que depende de un solo parámetro, llamado b_o :

$$F_{IAM} = 1 - b_o \cdot (1/\cos i - 1)$$

Siendo:

- i : ángulo de incidencia del plano ($^\circ$)
- b_0 : 0,05 para módulos cristalinos

Sin embargo, el fabricante de los módulos proporciona su propia curva de IAM, tal como se puede ver en la Ilustración 47.

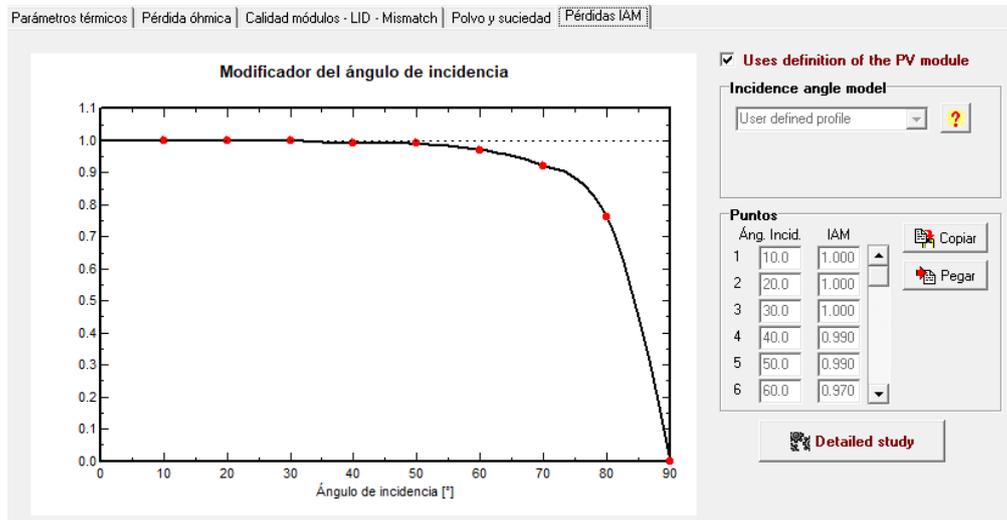


Ilustración 47. Pérdidas por IAM

Perfil de obstáculos

Teniendo en cuenta el lugar del emplazamiento se espera que no haya ningún sombreado generado. Sin embargo, debido a que el módulo será de tipo plano inclinado fijo, el Sol no podrá incidir directamente sobre el módulo cuando salga por el este y se ponga sobre el oeste, tal como indican las líneas azules de la Ilustración 48.

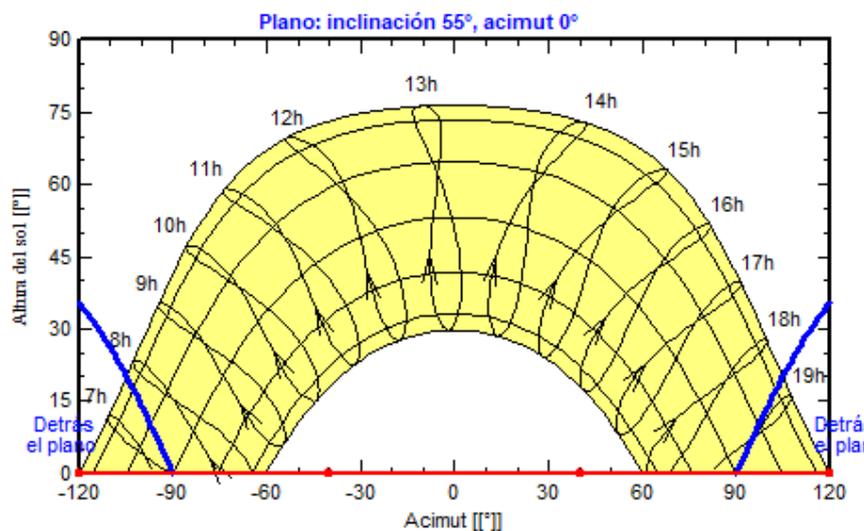


Ilustración 48. Perfil de obstáculos plano inclinado fijo: tilt 55°, acimut 0°

Sombras cercanas

Una de las herramientas que tiene el PVsyst es la posibilidad de realizar un diseño 3D con la localización de los módulos y de cualquier obstáculo que pueda haber alrededor y que pueda producir una sombra sobre el sistema. Puesto que no existen obstáculos cercanos ni lejanos, ni

que va a haber varias filas, se puede asumir que no habrá sombras cercanas, por lo que se aplica el modelo sin sombreado. Se puede observar que las únicas sombras se dan cuando el Sol se pone o sale más al norte de la ubicación de la vivienda, que ya se tienen en cuenta.

Evaluación económica

No será objeto de estudio realizar una evaluación económica con el programa.

Simulación e informe

Con el objetivo de obtener la instalación más pequeña que cubra toda la demanda anual, se ha ido iterando la potencia pico, es decir, variando el número de módulos, hasta que se obtuviera una energía faltante (E Miss) de valor nulo. Se varía el número de módulos en vez de la capacidad por el hecho del gran precio que representan las baterías, tal como se comentó en apartados anteriores.

Como se puede ver en la Ilustración 49, para una instalación de 5,6 kWp no se llega a suplir la demanda de marzo por tan solo 11 kWh. Sin embargo, en la Ilustración 50 se puede apreciar que no hay energía faltante para una potencia de 5,67 kWp, por lo que esta será la potencia que cumpla con la demanda horaria de todo el año. Se puede ver que ambas simulaciones se han hecho con un tilt de 55°, es decir, optimizando la producción de energía para el periodo de invierno. Se ha realizado también la simulación de una instalación de 5,67 kWp para un tilt de 16° (optimización de verano) y 32° (optimización anual) y los resultados mostraban una energía faltante de 101 kWh y 32 kWh respectivamente. Esta energía faltante procede de los meses de invierno, en los que existe una gran demanda de la calefacción y no se tiene tanto recurso solar como en verano.

En la solución óptima (5,67 kWp tilt 55°), se aprecia que hay un total de 3,17 MWh que no se han utilizado, haciendo que la eficiencia del sistema tan solo llegue a 51,80% puesto que el sistema queda sobredimensionado para varios meses del año.

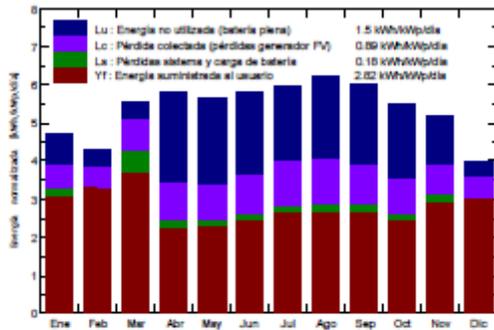
Sistema Aislado: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**
 Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

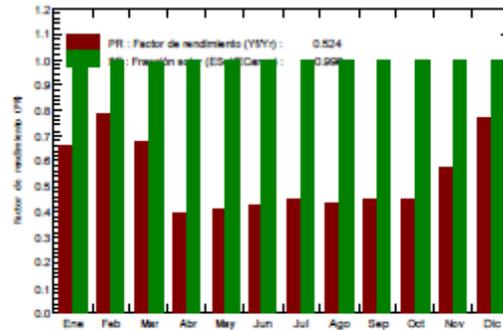
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Stand-alone system		
Orientación Campos FV	inclinación	55°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	CS3W-400P HE	Pnom	400 Wp
Generador FV	N° de módulos	14	Pnom total	5.60 kWp
Batería	Modelo	Secura OPzV_1375	Tecnología	Pb-ácido, cerrada, Gel
Banco de baterías	N° de unidades	24	Tensión/Capacidad	48 V / 1570 Ah
Necesidades de los usuarios	Ext. definido como archivo	Demanda horaria anual	Global	5781 kWh/año

Resultados principales de la simulación				
Producción del Sistema	Energía disponible	9.08 MWh/año	Produc. específico	1621 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	5.77 MWh/año	Exced. (inutilizado)	3.06 MWh/año
	Factor de rendimiento (PR)	52.35 %	Fracción solar SF	99.81 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	0.1 %	Energía faltante	0.01 MWh/año

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 5.60 kWp



Factor de rendimiento (PR) y Fracción solar SF



Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E Avail	E Unused	E Miss	E User	E Load	SolFrac
	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	
Enero	82.8	140.3	0.700	0.136	0.000	0.539	0.539	1.000
Febrero	84.8	115.5	0.568	0.062	0.000	0.530	0.530	1.000
Marzo	143.1	164.2	0.804	0.073	0.011	0.652	0.663	0.984
Abril	181.5	164.5	0.805	0.394	0.000	0.384	0.384	1.000
Mayo	220.7	164.0	0.802	0.382	0.000	0.401	0.401	1.000
Junio	241.2	162.6	0.784	0.349	0.000	0.415	0.415	1.000
Julio	247.3	173.3	0.825	0.340	0.000	0.466	0.466	1.000
Agosto	217.6	183.0	0.868	0.376	0.000	0.470	0.470	1.000
Septiembre	164.5	171.2	0.817	0.342	0.000	0.454	0.454	1.000
Octubre	125.9	162.8	0.789	0.335	0.000	0.431	0.431	1.000
Noviembre	90.8	149.1	0.729	0.210	0.000	0.497	0.497	1.000
Diciembre	68.3	118.1	0.586	0.065	0.000	0.532	0.532	1.000
Año	1868.5	1868.7	9.078	3.063	0.011	5.770	5.781	0.998

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal E Miss Energía faltante
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados E User Energía suministrada al usuario
 E Avail Energía Solar Disponible E Load Necesidad de energía del usuario (Carga)
 E Unused Pérdida de energía no utilizada (batería plena) SolFrac Fracción solar (E Utilizada/E Carga)

Ilustración 49. Resultados de la simulación para la instalación solar de 5,60 kWp tilt 55°

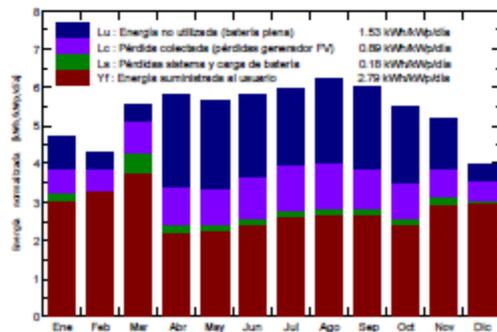
Sistema Aislado: Resultados principales

Proyecto : Nuevo Proyecto
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

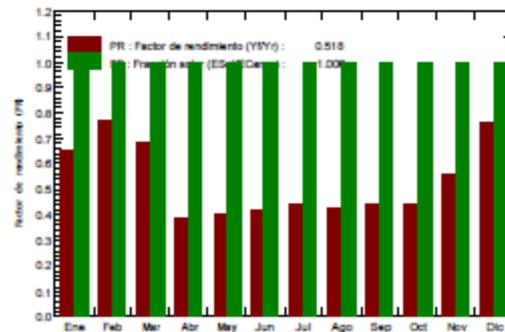
Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Stand-alone system	
Orientación Campos FV		inclinación	55°	acimut 0°
Módulos FV		Modelo	CS3W-405P HE	Pnom 405 Wp
Generador FV		Nº de módulos	14	Pnom total 5.67 kWp
Batería		Modelo	Secura OPzV_1375	Tecnología Pb-ácido, cerrada, Gel
Banco de baterías		Nº de unidades	24	Tensión/Capacidad 48 V / 1570 Ah
Necesidades de los usuarios	Ext. definido como archivo		Demanda horaria anual.	Global 5781 kWh/año

Resultados principales de la simulación			
Producción del Sistema	Energía disponible	9.20 MWh/año	Produc. específico 1823 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	5.78 MWh/año	Exced. (inutilizado) 3.17 MWh/año
	Factor de rendimiento (PR)	51.80 %	Fracción solar SF 100.00 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	0.0 %	Energía faltante 0.00 MWh/año

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 5.67 kWp



Factor de rendimiento (PR) y Fracción solar SF



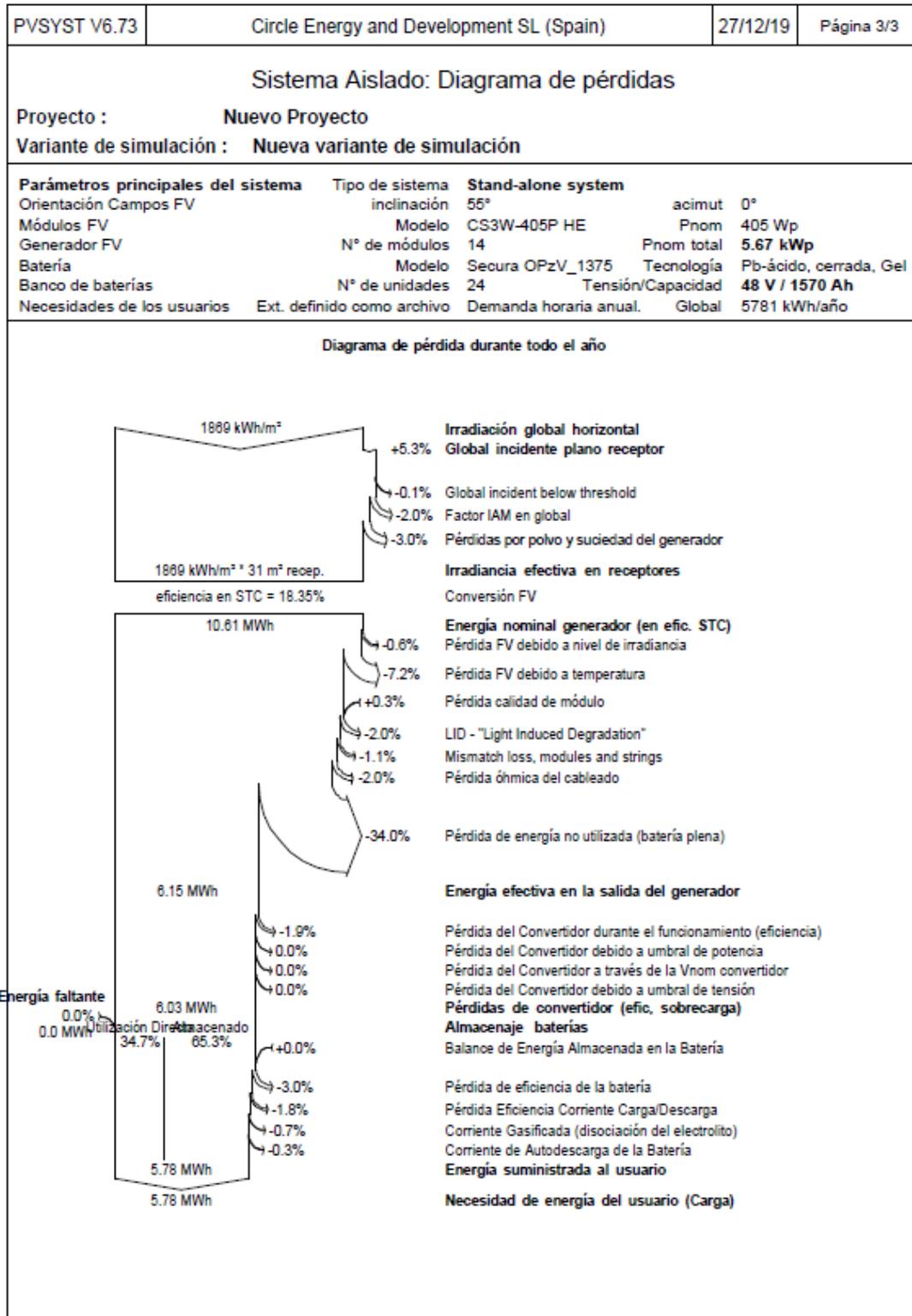
Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E Avail	EUnused	E Miss	E User	E Load	SolFrac
	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	
Enero	82.8	140.3	0.710	0.144	0.000	0.539	0.539	1.000
Febrero	84.8	115.5	0.575	0.067	0.000	0.530	0.530	1.000
Marzo	143.1	164.2	0.815	0.075	0.000	0.663	0.663	1.000
Abril	181.5	164.5	0.816	0.406	0.000	0.384	0.384	1.000
Mayo	220.7	164.0	0.813	0.393	0.000	0.401	0.401	1.000
Junio	241.2	162.6	0.795	0.359	0.000	0.415	0.415	1.000
Julio	247.3	173.3	0.837	0.351	0.000	0.466	0.466	1.000
Agosto	217.6	183.0	0.880	0.387	0.000	0.470	0.470	1.000
Septiembre	164.5	171.2	0.828	0.353	0.000	0.454	0.454	1.000
Octubre	125.9	162.8	0.800	0.347	0.000	0.431	0.431	1.000
Noviembre	90.8	149.1	0.739	0.220	0.000	0.497	0.497	1.000
Diciembre	68.3	118.1	0.594	0.069	0.000	0.532	0.532	1.000
Año	1868.5	1868.7	9.201	3.170	0.000	5.781	5.781	1.000

Legendas: GlobHor Irradiación global horizontal E Miss Energía faltante
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados E User Energía suministrada al usuario
 E Avail Energía Solar Disponible E Load Necesidad de energía del usuario (Carga)
 EUnused Pérdida de energía no utilizada (batería plena) SolFrac Fracción solar (EU/Utilizada/ECarga)

Ilustración 50. Resultados de la simulación para la instalación solar de 5,67 kWp tilt 55°

En la Ilustración 51 se muestra el diagrama de pérdidas para la solución óptima. Se puede apreciar que existe un gran porcentaje de pérdidas (34%) debido a la gran parte de tiempo que la batería se queda llena por completo. En cuanto a la cobertura de la demanda, se aprecia que el 34,7% proviene directamente de los paneles solares mientras que el 65,3% restante proviene de la energía almacenada en las baterías.



PVsynt Licensed to: Circle Energy and Development SL (Spain)

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Ilustración 51. Diagrama de pérdidas para la instalación solar de 5,67 kWp tilt 55°

Dimensionamiento del cableado

Al igual que en el dimensionamiento del cableado de la instalación con aerogenerador, se seguirán los criterios del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión de instalaciones interiores o receptoras (ITC-BT-19) [49]. Se deben respetar los 3 criterios a la vez:

- Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento
- Criterio de la caída de tensión
- Criterio de la intensidad de cortocircuito

Tipo de cableado

En cuanto al tipo de cableado, el REBT dice que se pueden utilizar conductores de cobre o aluminio. El cableado elegido diferirá del tipo de corriente:

- Tramo de corriente continua: para toda la instalación estará compuesto por dos conductores (positivo y negativo) del modelo Topsolar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K Este cable flexible tiene buenas prestaciones para instalaciones fotovoltaicas tanto al aire libre como enterrado. Este cableado será utilizado en los tramos desde los módulos fotovoltaicos hasta el inversor, pasando por las baterías. El cableado desde los cuales estarán en el interior, sobre la superficie de la pared.
- Tramo de corriente alterna: Se utilizará un cable XZ1 (S) Al 0,6/1 kV RV-K con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), para el tramo entre el inversor y el cuadro general de baja tensión (CGBT).

Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento.

Paneles solares

Los propios paneles solares cuentan con el propio cable del fabricante con una sección de 4 mm².

Paneles solares al cuadro de agrupación

La intensidad máxima (I_{sc}) que circula por los paneles solares es de 10,98 A. Por seguridad, se tomará un valor para los cálculos de dimensionamiento un 125 % de esta corriente, cumpliendo con lo indicado en la ITC-BT 40 para instalaciones generadoras, obteniendo así una corriente de $1,25 \times 10,98 = 13,725$ A. Esta corriente debe ser inferior a la máxima admisible por el cable en todo el trazado.

La intensidad máxima admisible para el conductor seleccionado, conductor del modelo Topsolar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K de 4 mm² es de 55 A en el caso de estar al aire libre, superior a la calculada anteriormente.

Cuadro de agrupación al regulador

Las intensidades máximas asociadas a los tramos de línea desde los cuadros de agrupación hasta los reguladores es $1,25 \times 7 \times 10,98 = 96,075$ A.

La intensidad máxima admisible para el conductor del modelo Topsolar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K de 16 mm² es de 125 A en el caso de ir sobre la superficie, superior a la calculada anteriormente.

Del regulador a las baterías

La intensidad máxima asociada a los tramos de línea desde los reguladores hasta las baterías es $1,25 \times 7 \times 10,98 = 96,075$ A.

La intensidad máxima admisible para el conductor del modelo Topsolar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K de 16 mm² es de 125 A en el caso de ir sobre la superficie, superior a la calculada anteriormente.

Del regulador al inversor

La intensidad máxima asociada a los tramos de línea desde el regulador hasta el inversor es de $1,25 \times 101,15 = 126,43$ A.

$$I_{reg-inv} = \frac{P_{demanda}}{U_L * \eta_{inv}} = \frac{4.651}{48 * 0,96} = 101 \text{ A}$$

La intensidad máxima admisible para el conductor del modelo Topsolar PV ZZ-F/H1Z2Z2-K de 25 mm² es de 167 A en el caso de ir sobre superficie, superior a la calculada anteriormente.

Inversor al CGBT

La intensidad máxima asociada a los tramos de línea desde el inversor al cuadro general de baja tensión de por lo que la intensidad de cálculo para estas líneas es de $1,25 \times 20,26 = 25,33$ A.

$$I_{inv-cgbt} = \frac{P_{demanda}}{U_L} = \frac{4.661}{230} = 20,26 \text{ A}$$

La intensidad máxima admisible para el conductor seleccionado, conductores RV-K Cobre electrolítico, clase 5, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de PVC flexible 0,6/1 kV con sección 3 G 1,5 mm² enterrado es de 26 A, superior a la calculada anteriormente.

Criterio de la caída de tensión máxima

En la Tabla 20, se muestran los valores eléctricos de los tramos de cableado. Las longitudes de los tramos se han tenido en cuenta considerando que el cuadro de agrupación se colocará en el tejado junto a los módulos, debajo del *string* central. Es por ello que los dos *strings* más alejados, tendrán un cableado de 8 metros. Del cuadro de agrupación saldrá un tramo de unos 8 metros hasta un pequeño habitáculo exterior en el cual se encuentra el regulador, las baterías y el inversor. Este habitáculo estará pegado a la pared norte de la vivienda. Todos los tramos desde los módulos al inversor tendrán el doble de cableado puesto que, al ser corriente continua, disponen de un polo positivo y otro negativo. En el tramo entre el inversor y cuadro general de baja tensión será un cableado trifásico:

Tramo	L (m)	1,25*I _L (A)	Tensión (V)	ΔV _{rec} (%)	ρ (Ω * mm ² / m)	S(mm ²)
Módulos-C.A.	7	13,7	94,8	1%	0,017	3
C.A. - Regulador	8	96,1	94,8	1%	0,017	22
Regulador-baterías	1	96,1	48	1%	0,017	11
Regulador-inversor	2	126,4	48	1%	0,017	11
Inversor-CGBT	5	25,3	230	3%	0,028	1

Tabla 20. Cálculo de la sección de cableado por el criterio de caída de tensión

Criterio de la intensidad de cortocircuito

La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los cables y suele ser de 160° C para cables con aislamiento termoplásticos y de 250° C para cables con aislamientos termoestables.

La intensidad máxima que puede circular por los conductores se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{k * S}{\sqrt{t}} [A]$$

Siendo:

- k = coeficiente dependiente del tipo de conductor, 93 para Aluminio
- S = sección del conductor en mm²
- t = duración del cortocircuito en segundos

Este criterio, aunque es determinante en instalaciones de alta y media tensión no lo es en instalaciones de baja tensión ya que por una parte las protecciones de sobreintensidad limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves, y además las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito.

Secciones de los tramos del cableado

Con ello, se pueden determinar las secciones del cableado, según el criterio térmico y el de caída de tensión, para luego seleccionar el diámetro según el criterio más restrictivo:

Tramo	Térmico (mm ²)	Caída de tensión (mm ²)	Sección final (mm ²)
Módulos – C.A.	4	3	4
C.A. - regulador	16	25	25
Regulador-baterías	16	16	16
Regulador-inversor	25	16	25
Inversor-CGBT	1,5	1	1,5

Tabla 21. Selección del cableado instalación solar fotovoltaico

ANÁLISIS FINANCIERO

En esta sección se hará un estudio para ver la viabilidad económica del proyecto. Para ello primero habrá que estimar la inversión que supondrá el equipo de producción de energía y almacenamiento. En segundo lugar, habrá que calcular los ahorros de la factura eléctrica que supondrá no tener la vivienda conectada a la red. Puesto que la instalación se ha fijado para que sea lo más sencilla posible, evitando contratar un mantenimiento, no habrá costes de operación y mantenimiento (O&M) a lo largo de la vida útil del proyecto. Por otro lado, la vida útil de todos los elementos es capaz de llegar a los 20 años de vida, que será el periodo utilizado para calcular la rentabilidad del proyecto, por lo que no habrá que estimar ningún costo de reinversión. Los principales indicadores que mostrarán la rentabilidad del proyecto son:

- Coste del kWp
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Periodo de retorno
- Coste normalizado de energía (*Levelized Cost of Energy* o LCOE)

Presupuesto de la instalación

El presupuesto de la instalación recogerá el valor de mercado de los distintos componentes de la instalación fotovoltaica. A todo ello, habrá que aplicarle un incremento por la mano de obra para su montaje, la cual suele tener un valor aproximado del 5% del presupuesto material. En la Tabla 22 se pueden apreciar los precios unitarios de cada modelo y el origen de dichos precios. En la Tabla 23 se ha estimado el coste total del cableado. Se ha procurado tomar la referencia de mercado más barata, incluyendo el IVA.

Equipo	Modelo	Unidades	Tienda	€/ud	€ totales
Módulo fotovoltaico	CS3W-405P HE	14	Greenfy	171,52 €	2.401,28 €
Regulador de carga	Studer VT-80 MPPT	1	Tutiendaenergetica	760,23 €	760,23 €
Baterías	Moll 11 OPzV.solar 2070 Ah (C100)	24	NeoSolar	439,54 €	10.548,96 €
Inversor	SMA Sunny Island 8.0H 8kW 48V	1	Auto Solar	3.538,08 €	3.538,08 €
Cuadro de agrupación	8 STRINGS - STC8 100A	1	AMB Green Power	375,00 €	375,00 €
Estructura soporte	Soportes inclinados dobles FV925 – FV925XL	1	SolarMat	1.088,60 €	1.088,60 €
				TOTAL	18.712,15 €

Tabla 22. Presupuesto equipos instalación solar fotovoltaica

Tramo	Modelo	S(mm ²)	Tienda	m.l.	€/m.l.	€ totales
Módulo - Cuad. Agru.	PV ZZ-F/H1Z2Z2-K	4	Mass	80	1,10 €	88,30 €
Cuad. Agru. - Regulador	PV ZZ-F/H1Z2Z2-K	25	Mass	16	13,58 €	217,28 €
Regulador - Baterías	PV ZZ-F/H1Z2Z2-K	16	Mass	2	0,09 €	0,18 €
Regulador - Inversor	PV ZZ-F/H1Z2Z2-K	25	Mass	4	13,58 €	54,32 €
Inversor CGBT	0,6/1 kV RV-K (XLPE)	1,5	Ilumitec	5	0,82 €	4,10 €
					TOTAL	364,18 €

Tabla 23. Presupuesto cableado instalación solar fotovoltaica

Presupuesto material (95%)	19.076,33 €
Coste de instalación (5%)	953,82 €
TOTAL	20.030,15 €

Tabla 24. Inversión total de la instalación

Coste del Wp

El coste Wp se obtiene del cociente entre la inversión total de la instalación y la potencia pico instalada:

$$\text{Coste } Wp = \frac{\text{Coste total de la instalación}}{\text{Potencia pico instalada}} = \frac{20.030,15 \text{ €}}{5.670 \text{ Wp}} = 3,53 \text{ €/Wp}$$

Es un precio relativamente barato teniendo en cuenta que el coste por Wp de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red ronda entre los 4 y 8 €/Wp [50].

Tasa interna de retorno (TIR)

Para entender el concepto de tasa interna de retorno (TIR) primero hay que definir que es el valor actual neto (VAN) de un proyecto. El VAN es un criterio de inversión, en el cual se actualizan los ingresos y gastos esperados en un periodo de tiempo para saber cuánto dinero se va a sacar con esa inversión. Para ello hay que traer todos los flujos de caja al presente, descontándolos a un tipo de interés determinado. La tasa interna de retorno (TIR) es aquel tipo de interés que hace que el VAN sea igual a cero. En caso de salir positivo se considera que la inversión es rentable, y a mayor valor, más rentable es el proyecto.

Como se mencionaba anteriormente solo va a existir un flujo de caja negativo en el año cero, en el cual se hace la inversión de 20.030,15 €. En los siguientes 20 años se espera que no haya ningún coste, puesto que el mantenimiento se considera nulo y no va a hacer falta comprar ningún equipo de nuevo.

Los ingresos generados serán equivalente a los ahorros generados por no tener un contrato con una compañía eléctrica. Existen los siguientes tipos de contratos [51]:

- Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC): es el precio máximo que pueden cobrar las comercializadoras a sus clientes. Para inscribirse en esta modalidad hay que tener una potencia contratada menor de 10 kW y una tensión inferior a 1 kV. En principio es el más económico en el término medio, puesto que no hay que pagar un sobrecosto para asegurar el precio de la electricidad (como ocurre en la siguiente modalidad), y el precio de la energía es el que resulta del mercado. En esta modalidad, conocida como mercado regulado, todas las comercializadoras reconocidas ofrecen facturas similares, para no confundir al consumidor.
- Precio de mercado libre: donde la comercializadora fija el precio. La ventaja de este tipo de contrato son los descuentos, permitiendo tener un precio más económico, pero pueden acarrear servicios adicionales y contratos de permanencia.

La que tendría más sentido para nuestra vivienda sería la PVPC, sin embargo, como no se puede conocer la fluctuación del precio de la electricidad de los próximos 20 años asumimos que se va a tener la modalidad de contrato fijo durante los 20 años con una comercializadora.

La factura de la electricidad está compuesta por dos componentes. Un término fijo, que depende de la potencia contratada (kW) y un término variable, que depende de la energía consumida (kWh). Además, existen unos cargos o peajes asociados a cada uno de estos términos,

establecidos por el gobierno. Por último, hay que añadir el impuesto por electricidad más el IVA, que ronda un total de 26%.

Se ha comparado las distintas tarifas sin discriminación de las principales comercializadoras [52], y se ha determinado que la más barata es la Tarifa 2.0 A de Lucera, con un precio de potencia 37,92 €/kW/año y un precio de energía de 0,1270 €/kWh. De acuerdo con lo establecido en la orden TEC/1366/2018, se establecen los peajes de energía eléctrica para 2019, que para este tipo de tarifa se tiene un precio de potencia de 38,043426 €/kW/año y un precio de energía de 0,044027 €/kWh [53].

Existen unas determinadas potencias estándar a contratar, y seguramente la que más se acerque a nuestro modelo sería la de 5,75 kW. Con todo ello, se obtienen los flujos de caja total y acumulados de la Tabla 25.

Con ello se obtiene un **TIR del 6%**, significando que el proyecto sale rentable en la vida útil estimada del proyecto.

Año	kWh	Energía		Potencia		Impuestos	Ahorros	Inversión	FC Total	Flujo acumulado
		Lucera	Peaje	Lucera	Peaje					
0								- 20.030,15 €	- 20.030,15 €	- 20.030,15 €
1	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 18.285,79 €
2	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 16.541,43 €
3	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 14.797,08 €
4	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 13.052,72 €
5	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 11.308,36 €
6	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 9.564,00 €
7	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 7.819,64 €
8	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 6.075,29 €
9	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 4.330,93 €
10	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 2.586,57 €
11	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	- 842,21 €
12	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	902,15 €
13	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	2.646,51 €
14	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	4.390,86 €
15	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	6.135,22 €
16	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	7.879,58 €
17	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	9.623,94 €
18	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	11.368,30 €
19	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	13.112,65 €
20	5781	693,10 €	254,52 €	218,04 €	218,75 €	359,95 €	1.744,36 €		1.744,36 €	14.857,01 €

Tabla 25. Flujos de caja y flujo acumulado del proyecto

Periodo de retorno

El periodo de retorno representa el tiempo necesario para recuperar la inversión, es decir, el tiempo que tarda el flujo acumulado en ser positivo. Para nuestro caso, la instalación solar fotovoltaica tendrá un **periodo de retorno de 11,5 años**.

Coste nivelado de electricidad (LCOE)

El Levelized Cost of Electricity (LCOE) se puede definir como el precio mínimo al que un generador debería vender la energía producida para cubrir los gastos de inversión y operación, así como cualquier otro coste a lo largo de la vida útil del proyecto. En caso de vender la energía a un mayor precio €/kWh obtendría ganancias, y pérdidas en el caso contrario. El LCOE se calcula como el cociente entre todos los gastos del proyecto descontados al presente, y la energía total producida a lo largo del proyecto, también descontado al presente. Puesto que se trata de un proyecto de carácter social se va a asumir una tasa de descuento igual a 0%. Con ello, se obtiene un **LCOE de 0,173 €/kWh**.

$$LCOE = \frac{\sum_{n=0}^{n=20} \frac{INV_n + OM_n}{(1+r)^n}}{\sum_{n=0}^{n=20} \frac{E_n}{(1+r)^n}}$$

En el último informe de Lazard en noviembre de 2019 (ver Ilustración 52) sobre LCOE de distintas tecnologías se muestra que el valor de LCOE para energía solar fotovoltaica en el sector residencial varía entre los 0,136 €/kWh y los 0,217 €/kWh, por lo que el valor obtenido es razonable.

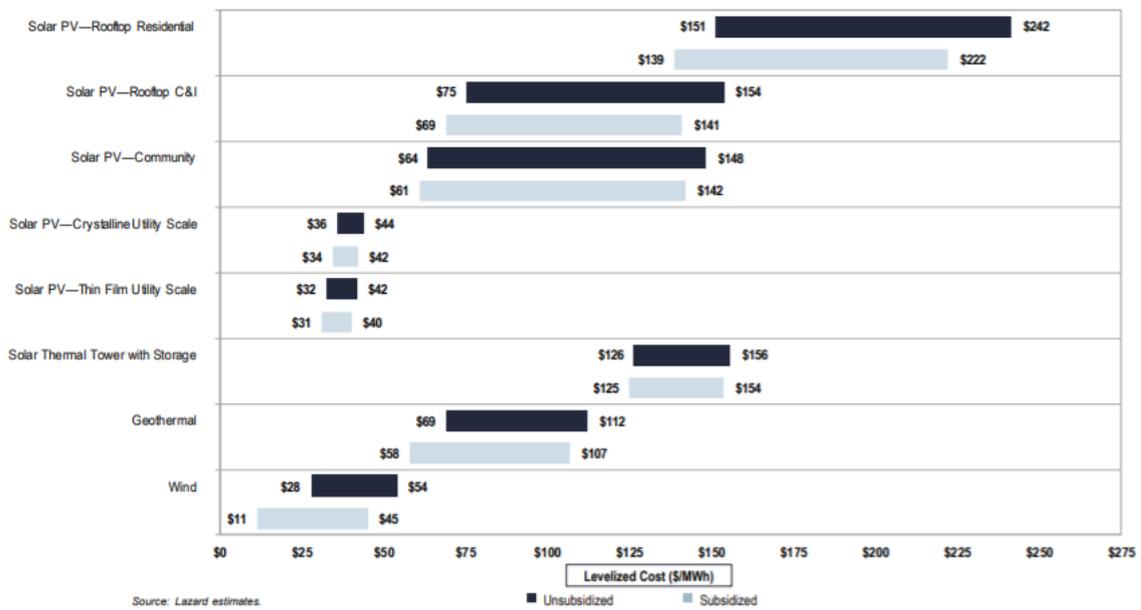


Ilustración 52. LCOE para distintas tecnologías [54]

BALANCE ENERGÉTICO

Como se apuntaba al comienzo del proyecto, uno de los principales *drivers* es la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI). El principal GEI es el dióxido de carbono (CO₂), llegando a presentar un 80% del total en el año 2018 [55]. En segundo lugar, se encuentra el metano (CH₄), llegando a representar un 12%. Pero estas últimas no son tan relativas en el sector eléctrico ni residencial.

En este apartado se estimarán las emisiones de CO₂ evitadas por no consumir energía eléctrica de la red. La mejor forma de estimarlo es conociendo las emisiones de CO₂ producidas durante el último año y cuantos kWh se han generado. Según el Avance del Informe del sistema eléctrico español 2018 [56], en el año 2018 (el último disponible), hubo una demanda eléctrica de 253.495 GWh. En ese mismo periodo se produjeron hasta 54 millones de toneladas de CO₂. Con el mix energético de 2018, se produjeron 0,213 g CO₂ por cada kWh generado. Si asumiéramos este factor de emisión para la vida útil del proyecto se ahorrarían hasta 0,213 kg CO₂/kWh x 115.620 kWh = **24,6 toneladas de CO₂** (una media de 1,2 toneladas anuales).

CONCLUSIONES

Tras realizar el dimensionamiento del sistema de producción y almacenamiento de energía, intentando optimizar al máximo la inversión económica a la vez que se cumplen todos los objetivos establecidos para el diseño de la vivienda se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se ha obtenido un sistema optimizado que cubre toda la demanda horaria del año. Sin embargo, esto ha supuesto un claro sobredimensionamiento para los meses de verano, lo cual ha hecho que se tenga una eficiencia de tan solo el 52%, llegando a desechar 3,71 MWh al año, del total de los 9,71 MWh generados.
- El ángulo de tilt que resulta óptimo no es el que permite la mayor producción anual en nuestro caso, sino el que permite producir una mayor cantidad de energía en la época que se combina la mayor demanda con un bajo recurso disponible, siendo este caso la época de invierno.
- Se aprecia claramente que a medida que el precio de las baterías se vaya reduciendo, tal como lo ha hecho el precio de los módulos, estos sistemas serán mucho más atractivos para el uso residencial.
- Otro de los grandes atractivos de estos sistemas hoy en día, es que apenas necesitan mantenimiento y tienen una vida útil considerablemente larga, lo cual es idóneo para que tanto los huéspedes, como las organizaciones que financien estos proyectos no tengan que preocuparse por un coste considerable durante la vida útil del sistema.
- Se han encontrado equipos a bastante buen precio en los mercados online que han supuesto un coste 3,53 €/Wp, lo cual está ligeramente por debajo de la media.
- El análisis económico ha mostrado un valor positivo de TIR (6%) y un periodo de retorno inferior a la vida útil del proyecto (11,5 años). Esto indica que la inversión resulta rentable. Una de las razones por las que sale tan rentable es porque el ahorro no es solo por la potencia instalada y la energía consumida, sino porque se evitan los costes de peajes de acceso e impuestos.
- Es cierto que se ha utilizado un tipo de tarifa que es fijo y que se asume que será igual para los próximos 20 años. Según la evolución de los precios de la electricidad, el estado regulará estas tarifas, lo cual puede hacer que el proyecto salga más o menos rentable de lo estimado actualmente. Si se hubiese asumido una tarifa diferenciada con varios tramos, posiblemente los ahorros serían menores, reduciendo la rentabilidad del proyecto. Esto podría ser objeto de un futuro estudio.
- Gracias a este proyecto se evita una gran cantidad de emisiones de GEI. Hasta un total de 1,2 toneladas de CO₂ anuales. Y esto teniendo en cuenta que solo se consideran los gases evitados del sector eléctrico. Tampoco se aportan emisiones que podrían existir si la vivienda tuviera consumos a partir de la quema de gas, como pueden ser las calderas o cocinas antiguas.

ALIENACIÓN DEL PROYECTO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) DE NACIONES UNIDAS

El 25 de septiembre de 2015, las Naciones Unidas establecieron 17 objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el medio natural y asegurar la prosperidad de todos los habitantes del planeta. De todos esos objetivos, los que se alinean con el proyecto descrito son los siguientes:

- **Fin de la pobreza:** aquellas personas que viven en la extrema pobreza tienden a vivir en la calle, o en viviendas deplorables donde tener unas condiciones mínimas de higiene son todo un lujo. Es por ello que las ayudas de distintas instituciones para otorgarles una vivienda digna en la que poder llevar una vida normal puede resultar en un cambio total en la vida de estas personas. Con una vivienda en la que se cubra las necesidades mínimas de los huéspedes hace que tengan más probabilidad de poder tener más oportunidades en el mundo laboral, lo cual ayudaría a sacar la familia adelante. La principal razón por la que los inmigrantes africanos cruzan el mar Mediterráneo, jugándose la vida, es por la extrema pobreza en la que viven en sus países de origen. Si se le pudieran dar medios para encontrar un trabajo con el que sustentar a sus familias, mientras contribuyen a la sociedad, es una situación idónea para todos.
- **Salud y bienestar:** el hecho de poder vivir bajo un techo, contando con ducha y resguardo, permite a los individuos ser menos propensos a contraer enfermedades, por lo que esta solución aumenta notablemente el bienestar y la salud de las personas que sean acogidas en las viviendas.
- **Agua limpia y saneamiento:** aunque no sea objeto del proyecto, la idea es que todas las viviendas que se construyan en la zona puedan contar con un sistema de potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales.
- **Energía asequible y no contaminante:** este punto es el más enfatiza el proyecto puesto que la vivienda se aprovecha de la energía inagotable del sol, con objeto de reducir las emisiones, tal como se ha mostrado a lo largo de la memoria. Por otra parte se ha dejado claro que es asequible al ver que la instalación tiene un coste relativamente barato comparado con la media y que sale rentable en términos económicos en el largo plazo.
- **Ciudades y comunidades sostenibles:** otra de las características de este proyecto es la simpleza de la vivienda y la instalación, con el objetivo de que sea fácilmente replicable y que pueda formarse una comunidad que agrupe individuos que se encuentren en la misma situación, para que así puedan tener el sentimiento de pertenencia y no queden completamente aislados de la sociedad.
- **Acción por el clima:** como se apuntaba en otro de los apartados, uno de los principales motivos para la inversión de este tipo de viviendas es la reducción de las emisiones de GEI, especialmente del sector eléctrico, pero también del sector residencial. Ambos sectores tienen un buen margen de mejora. Gracias a las nuevas normativas a nivel europeo y nacional se va a fomentar las viviendas de autoconsumo, especialmente las que están aisladas de la red.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «ACNUR,» [En línea]. Available: <https://www.acnur.org/es-es/>.
- [2] «FRONTEX,» [En línea]. Available: https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/frontex_es.
- [3] «Parlamento Europeo,» [En línea]. Available: http://www.europarl.europa.eu/external/html/welcomingeurope/default_es.htm.
- [4] «IDMC,» [En línea]. Available: <http://www.internal-displacement.org/mid-year-figures>.
- [5] M. d. T. ecológica, «Inventario Nacional de emisiones a la atmósfera Serie inventariada 1990-2017,» 2019.
- [6] «Sun field,» [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/efecto-de-las-sombras-en-un-panel-solar-fotovoltaico/>.
- [7] «ENDEF,» [En línea]. Available: <https://endef.com/puedo-ponerme-placas-fotovoltaicas-en-casa/>.
- [8] «IDAE,» [En línea]. Available: <http://www.idae.es/>.
- [9] «IRENA,» [En línea]. Available: <https://www.irena.org/>.
- [10] «Acciona,» [En línea]. Available: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>.
- [11] F. I. f. S. Energy, «Photovoltaics Report,» Freiburg, 2019.
- [12] «Ecologistas en accion,» 21 6 2007. [En línea]. Available: <https://www.ecologistasenaccion.org/10057/impacto-ambiental/>.
- [13] «Renewables 2018 - Global Status Report,» Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018.
- [14] «Ingemecanica,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>.
- [15] «Solar energia,» [En línea]. Available: <https://www.yanopagoluz.mx/blog/index.php/2018/09/12/componentes-de-los-paneles-solares-en-playa-del-carmen/>.
- [16] M. Pérez, «Conermex,» [En línea]. Available: <https://www.conermex.com.mx/blog-sombrasenpaneles.html>.
- [17] «Solar World,» [En línea]. Available: http://la.solarworld.com/about/value-chain/solar-cells?sc_lang=es-MX.

- [18] «Area tecnología,» [En línea]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electronica/union-pn.html>.
- [19] «Ingtelecto,» [En línea]. Available: <https://ingtelecto.com/semiconductores/>.
- [20] «Genera tu luz,» [En línea]. Available: <https://www.generatuluz.com/como-funcionan-placas-solares/>.
- [21] J. Cepeda y A. Sierra, «Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles,» [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4196/cepedajuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [22] «Iberdrola,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>.
- [23] «Sphera energy,» [En línea]. Available: <http://sphaeraenergy.cl/>.
- [24] «Efimarket,» [En línea]. Available: <https://www.efimarket.com/estructura-solar-panel-fotovoltaico-cubierta-plana-3-modulos>.
- [25] «Atersa,» [En línea]. Available: <https://atersa.shop/como-orientar-paneles-solares/>.
- [26] «Monsolar,» [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/blog/calcular-la-separacion-entre-filas-de-placas-solares-para-evitar-sombras/>.
- [27] «MPPTSolar,» [En línea]. Available: <https://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-paneles-solares-fotovoltaicos.html>.
- [28] Luipermom, «Word press,» 9 8 2010. [En línea]. Available: <https://luipermom.wordpress.com/2010/08/09/interruptores-magnetotermicos-y-diferenciales/>.
- [29] «im2solar,» [En línea]. Available: <http://www.im2solar.com/07/2017/mantenimiento-instalaciones-fotovoltaicas/>.
- [30] C. E. d. A. a. Refugiado, «Informe 2019: Las personas refugiadas en España y Europa,» 2019.
- [31] «Cádiz acoge el primer ‘campo de refugiados temporal’ en España,» *La Vanguardia*, 5 8 2018.
- [32] IDAE, «Consumo del sector residencial España,» 2010-2017.
- [33] «Certicalia,» [En línea]. Available: <https://www.certicalia.com/>.
- [34] «Ferrolan,» [En línea]. Available: <http://ferrolan.es/que-potencia-luminica-necesitas-en-funcion-de-los-m2-descubre-los-downlight-led-de-superficie-y-los-lumenes-necesarios/>.

- [35] E. y. T. Ministerio de Industria, «Guía técnica de aplicación: instalaciones interiores. Instalaciones interiores en viviendas, número de circuitos y características,» 2012.
- [36] «Electrocalculator,» [En línea]. Available: <https://www.electrocalculator.com/>.
- [37] M. H. Fuerte, «Caso Práctico de Aplicación de los nuevos requisitos del CTE-DB HE con Bombas de Calor,» *Caloryfrio*, 2019.
- [38] IDAE, «Documento Básico de Ahorro de Energía. Sección HE 0 - Limitación del consumo energético».
- [39] R. P. Benavente, «Por qué una bomba de calor es el sistema de calefacción más eficiente,» *El Confidencial*, 15 01 2015.
- [40] X. G. Cuesta, *Estudio de viabilidad de la bomba de calor para climatización y producción de ACS*, 08/2018.
- [41] S. d. E. P. d. B. d. C. e. España, «IDAE».
- [42] D. Pascual, «Daniel Pascual arquitecto,» 3 9 2013. [En línea]. Available: <https://www.danielpascual.com/bomba-de-calor-de-ac/>.
- [43] «Documento Básico HE Ahorro de Energía,» 2017.
- [44] M. U. Mas, «Viabilidad técnico-económica de la cogeneración para el sector residencial en España a partir de biomasa mediante ciclo de rankine orgánico,» Madrid, 2017.
- [45] «Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/index.html>.
- [46] «PV GIS tool,» [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP.
- [47] «Sunfer,» [En línea]. Available: <http://sunfer-energy.com/product/fv925-fv925xl/>.
- [48] «¿Cuales son los años de vida de cada tipo de batería en una instalación solar?,» *Damia Solar*, 2017.
- [49] D. G. D. I. Y. PYME, «Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias,» 2002.
- [50] «Krannich,» [En línea]. Available: <https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>.
- [51] M. d. T. Ecológica, «Controlas tu energía,» [En línea]. Available: <http://www.controlastuenergia.gob.es/factura-electrica/contratos/Paginas/tipos-contrato-electricidad.aspx>.
- [52] «Tarifa luz hora,» [En línea]. Available: <https://tarifaluzhora.es/comparador/tarifas-electricas>.

- [53] «Orden TEC/1366/2018, de 20 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso de energía eléctrica para 2019.,» [En línea]. Available: https://boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-17606%20.
- [54] Lazard, «LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS — VERSION 13.0,» 2019.
- [55] «Ministerio de Transición Ecológica,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/>.
- [56] REE, «Avance del Informe del sistema eléctrico español 2018,» 2018.

ANEXO 1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE CONSUMO

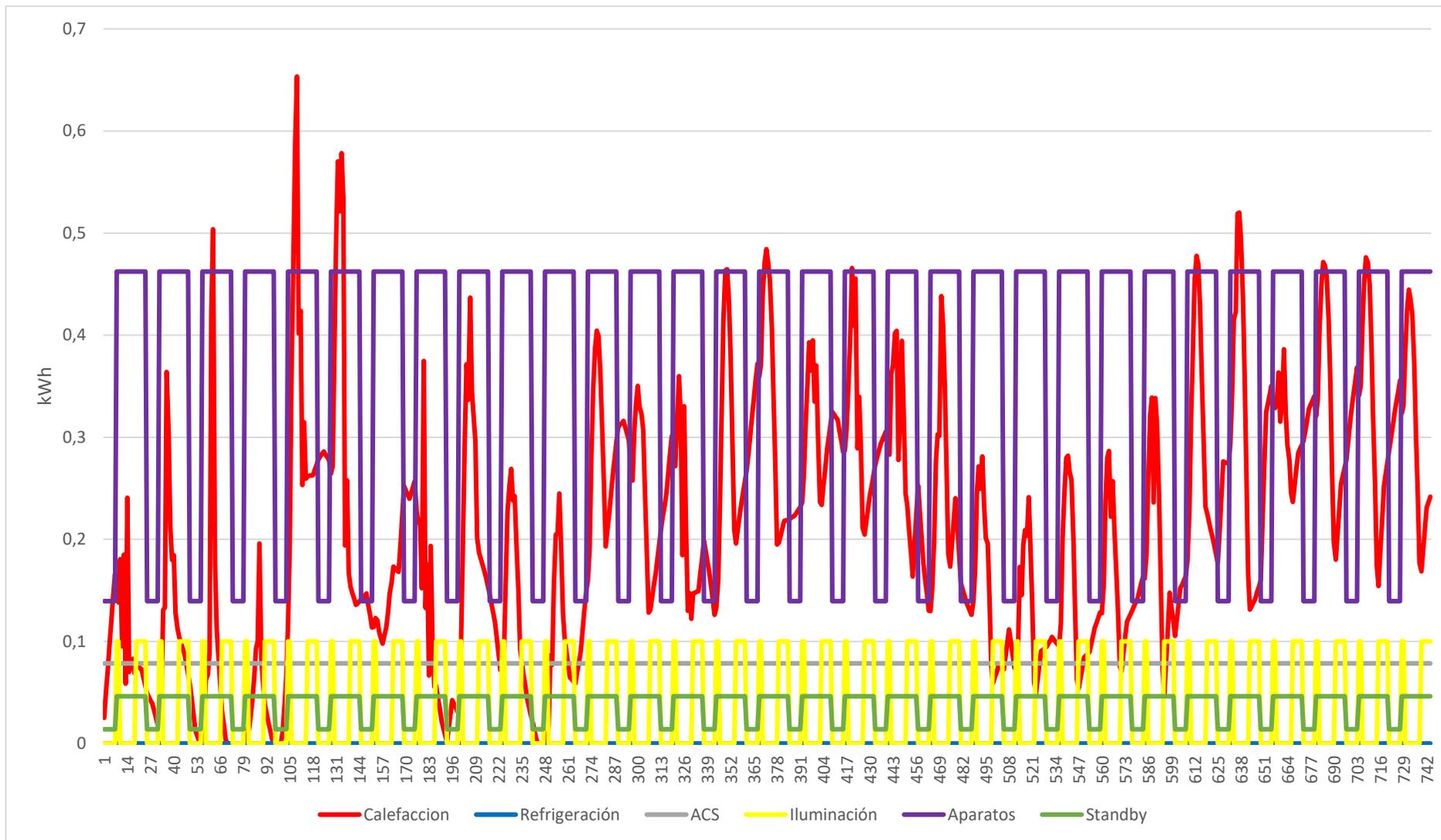


Ilustración 53. Distribución del consumo horario en enero

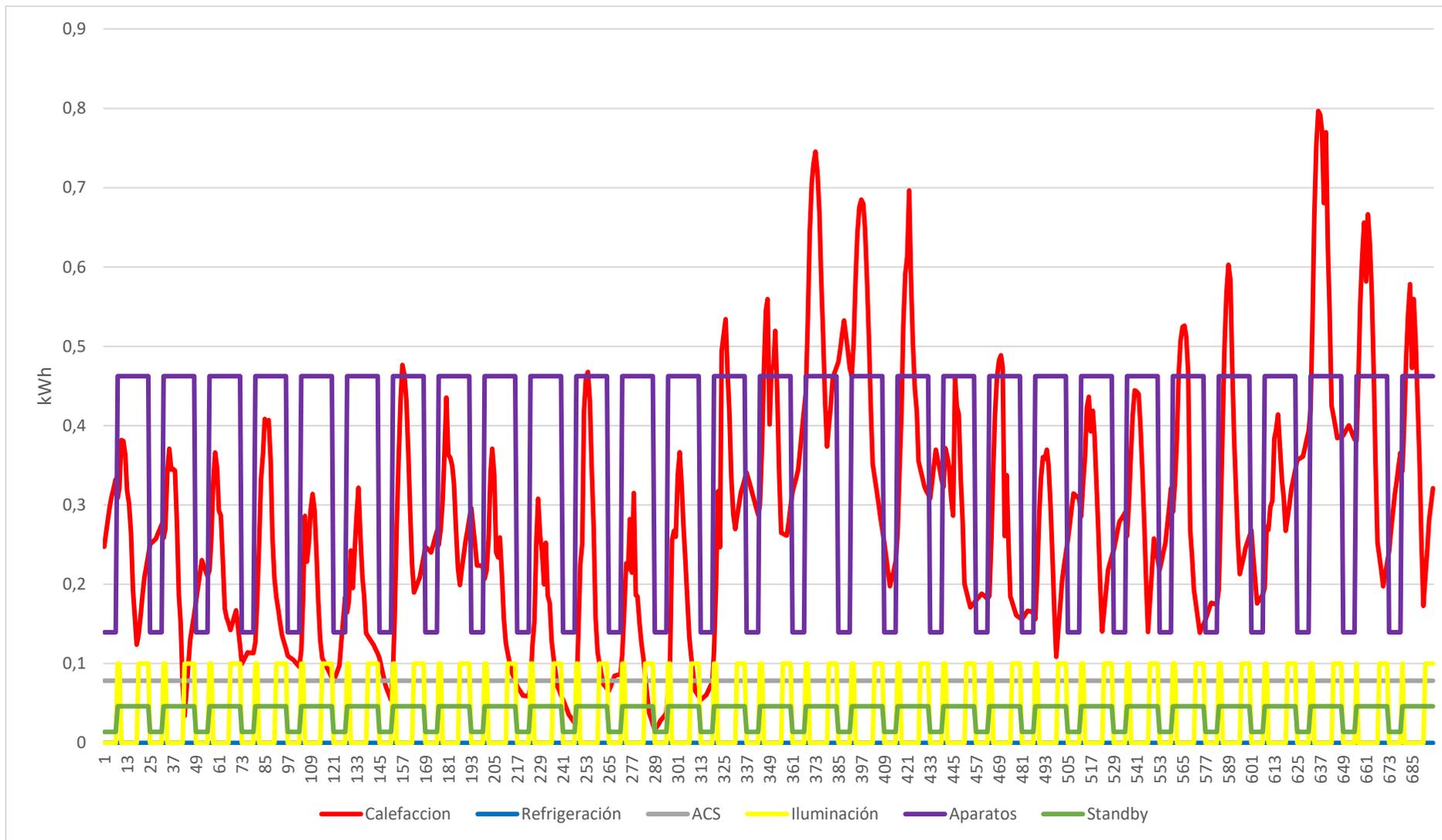


Ilustración 54. Distribución del consumo horario en febrero

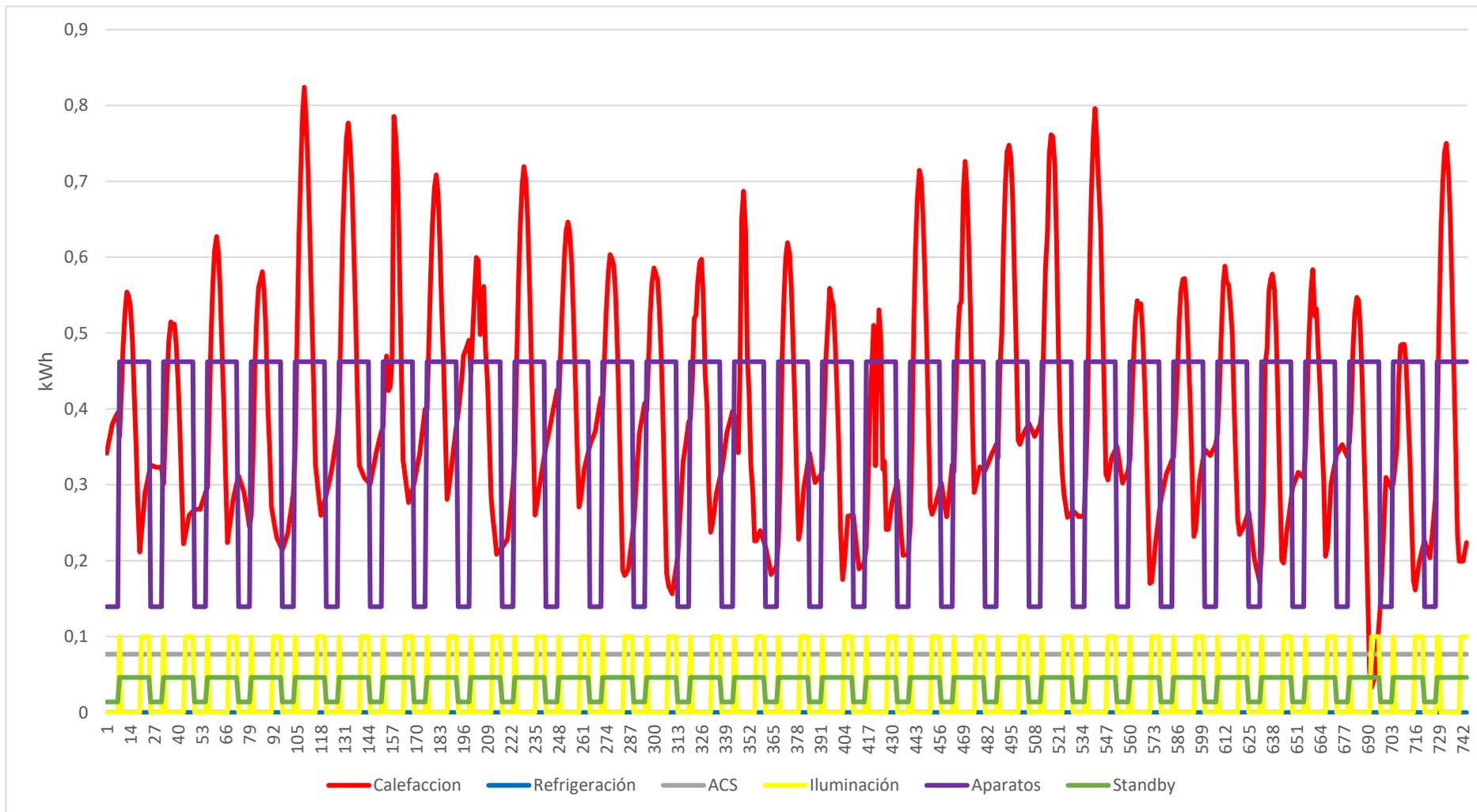


Ilustración 55. Distribución del consumo horario en marzo

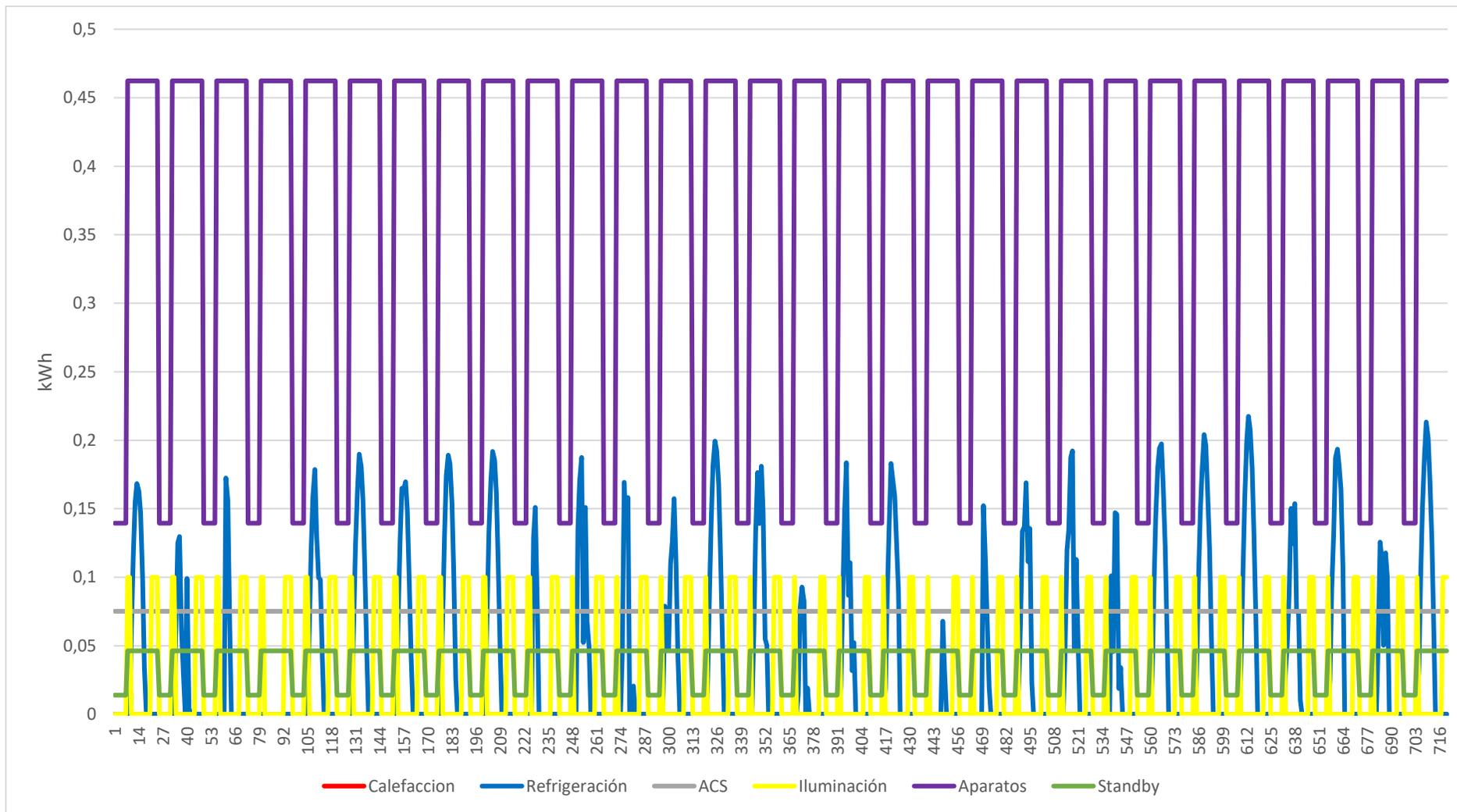


Ilustración 56. Distribución del consumo horario en abril

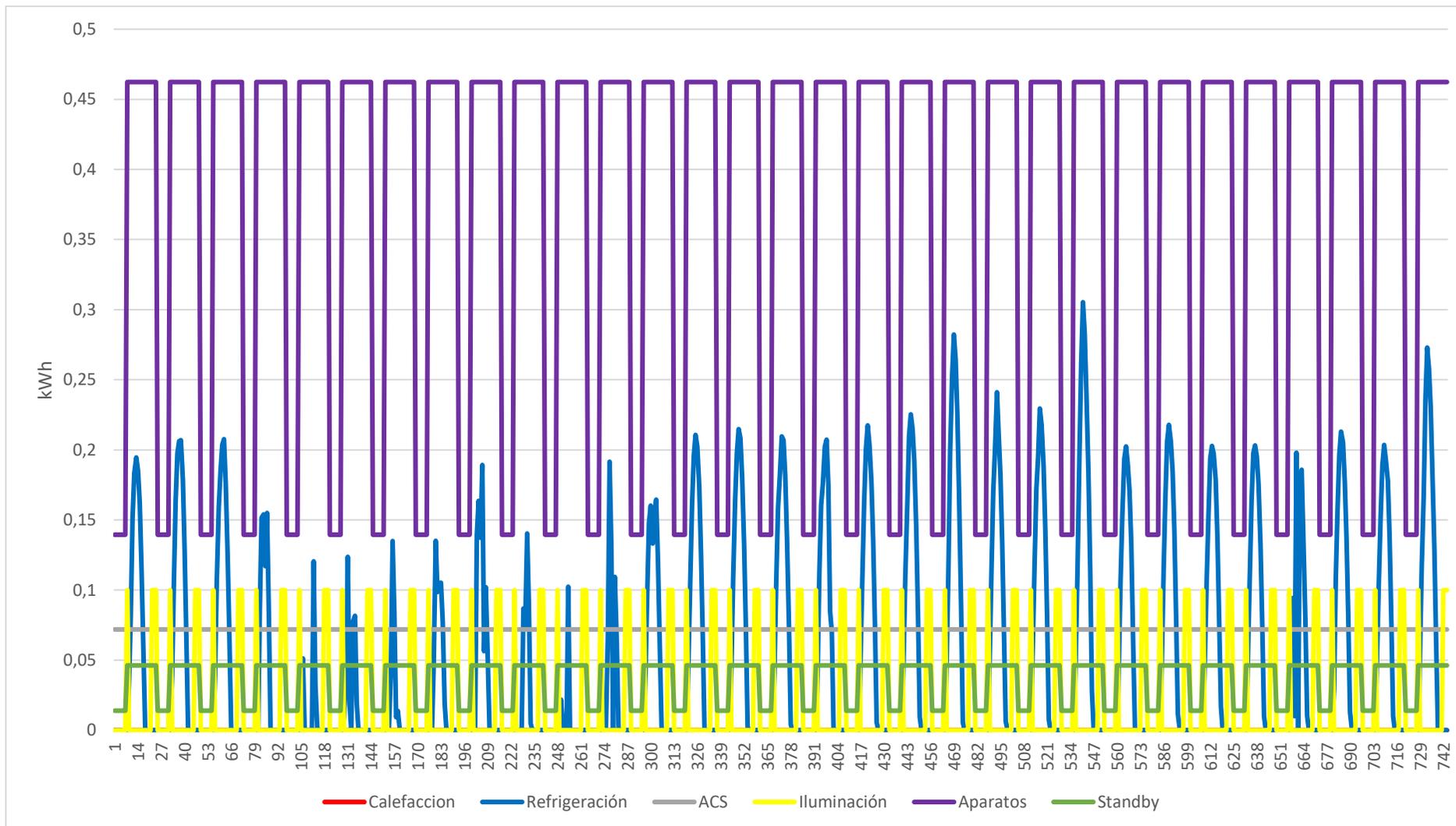


Ilustración 57. Distribución del consumo horario en mayo

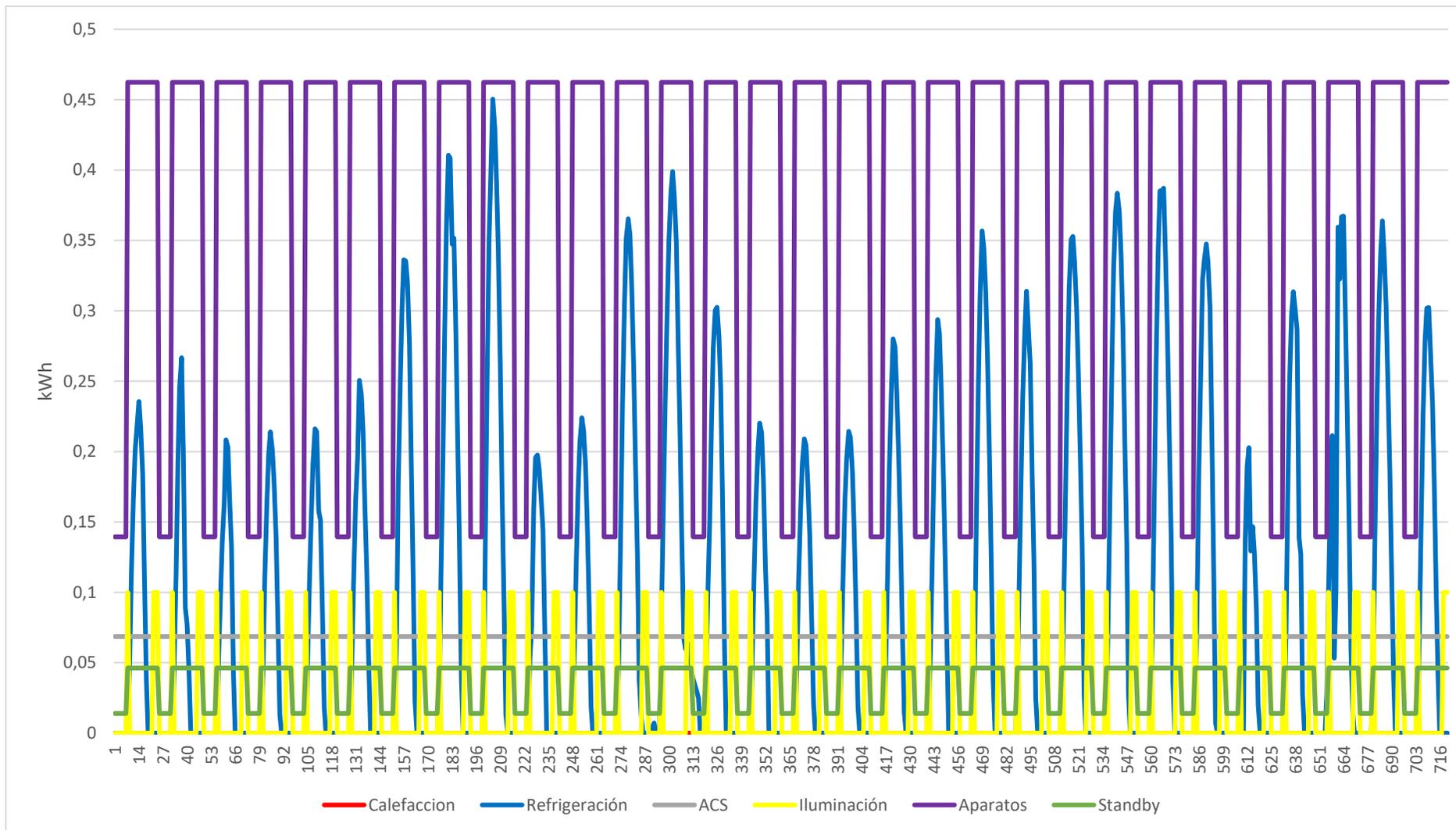


Ilustración 58. Distribución del consumo horario en junio

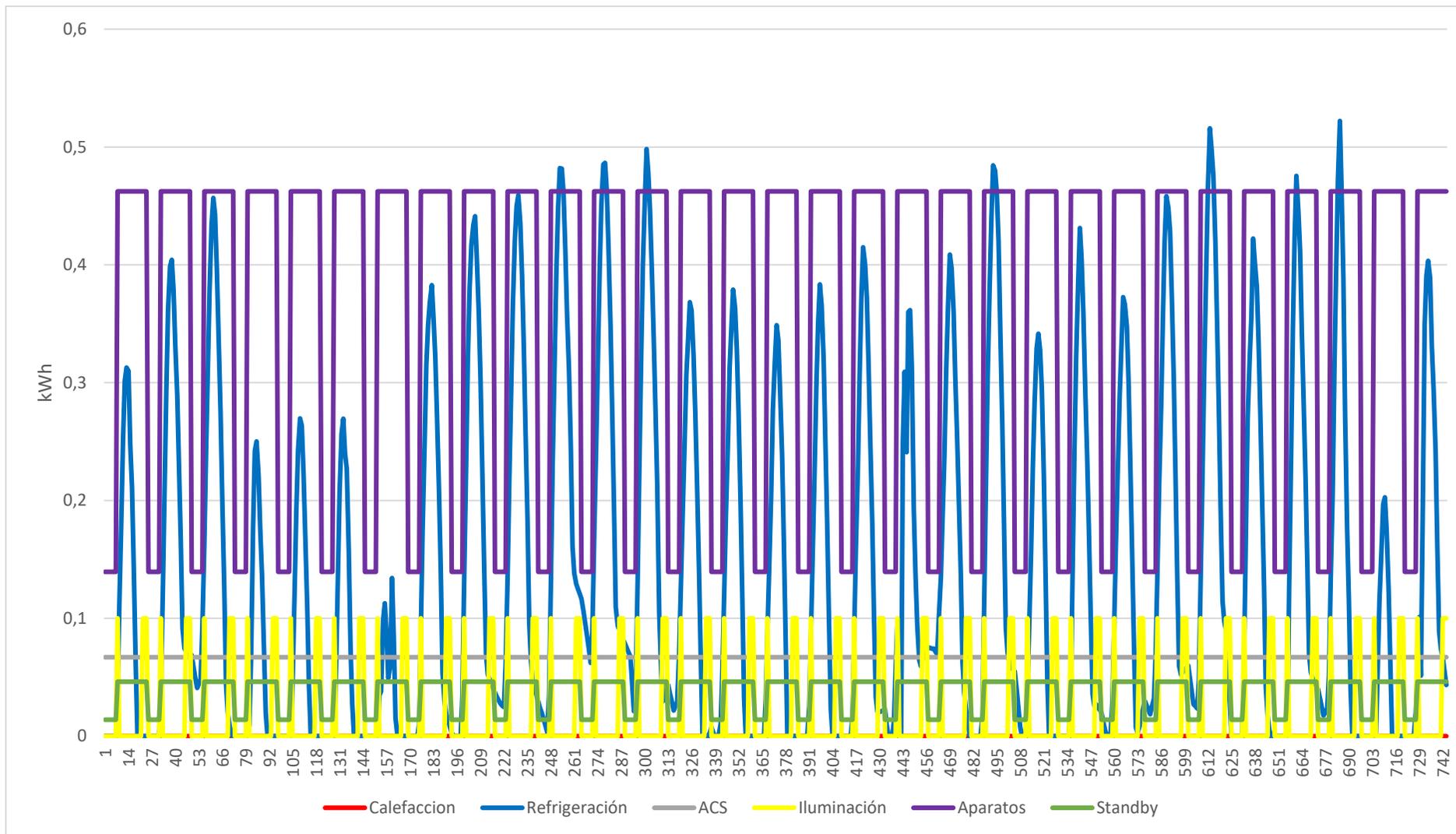


Ilustración 59. Distribución del consumo horario en julio

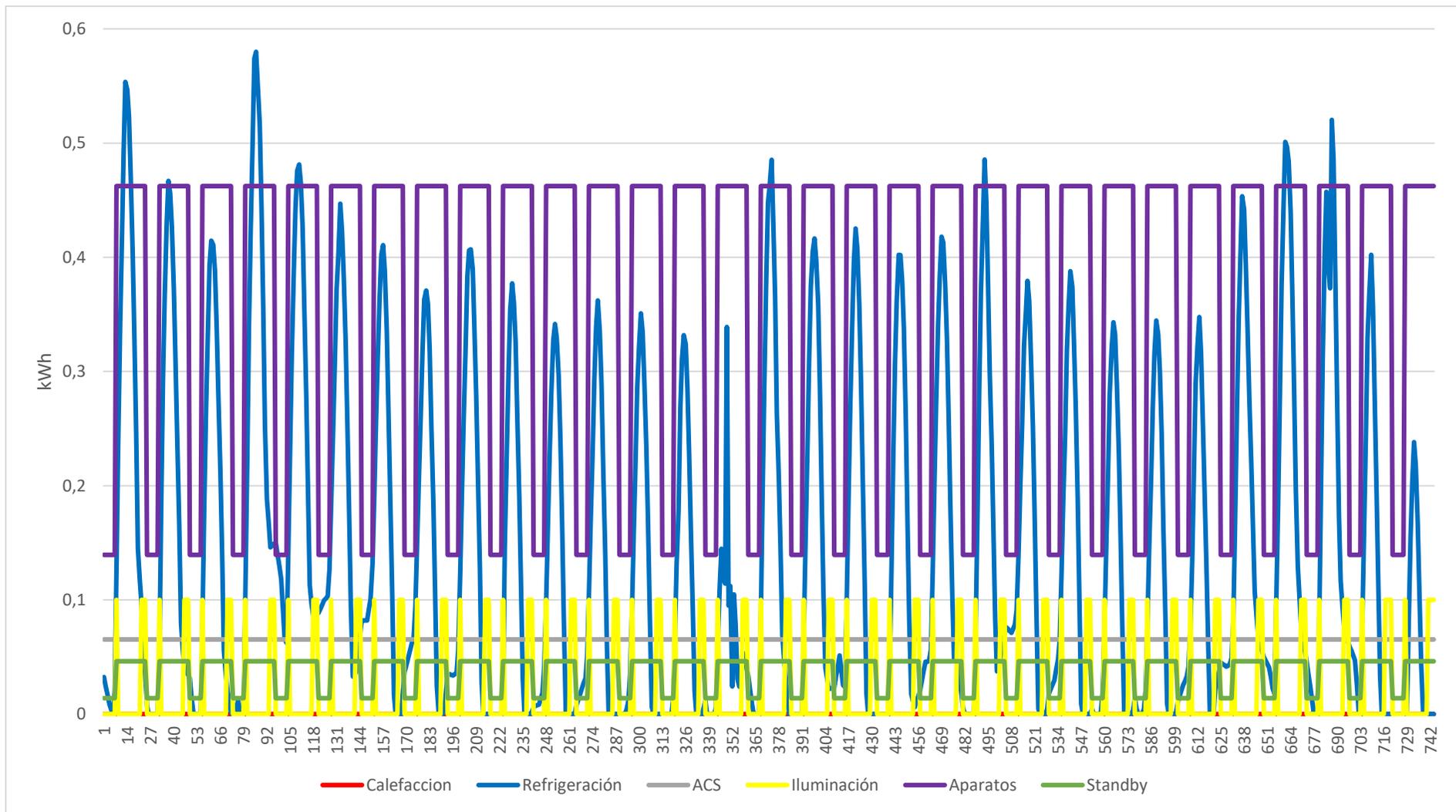


Ilustración 60. Distribución del consumo horario en agosto

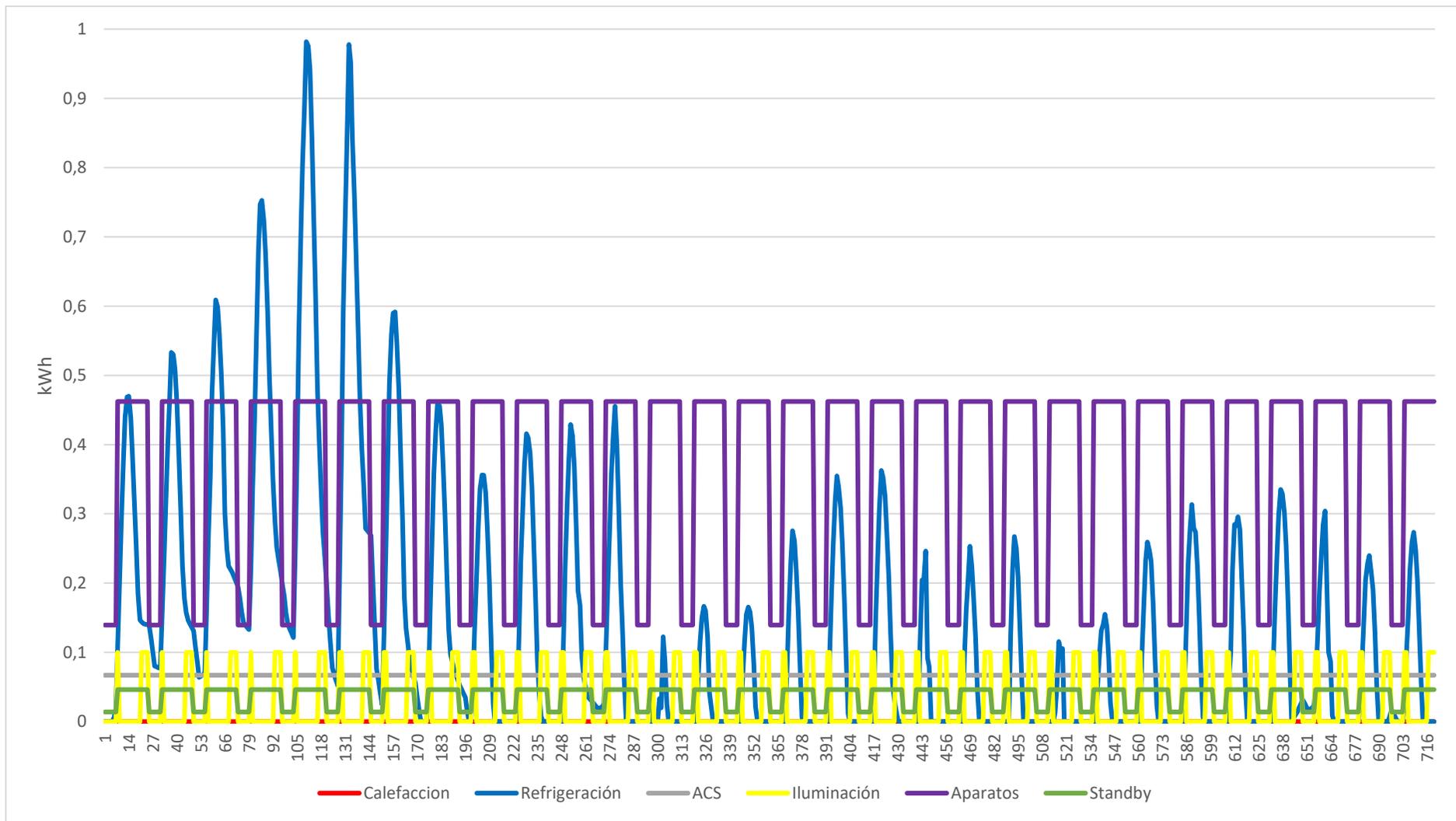


Ilustración 61. Distribución del consumo horario en septiembre

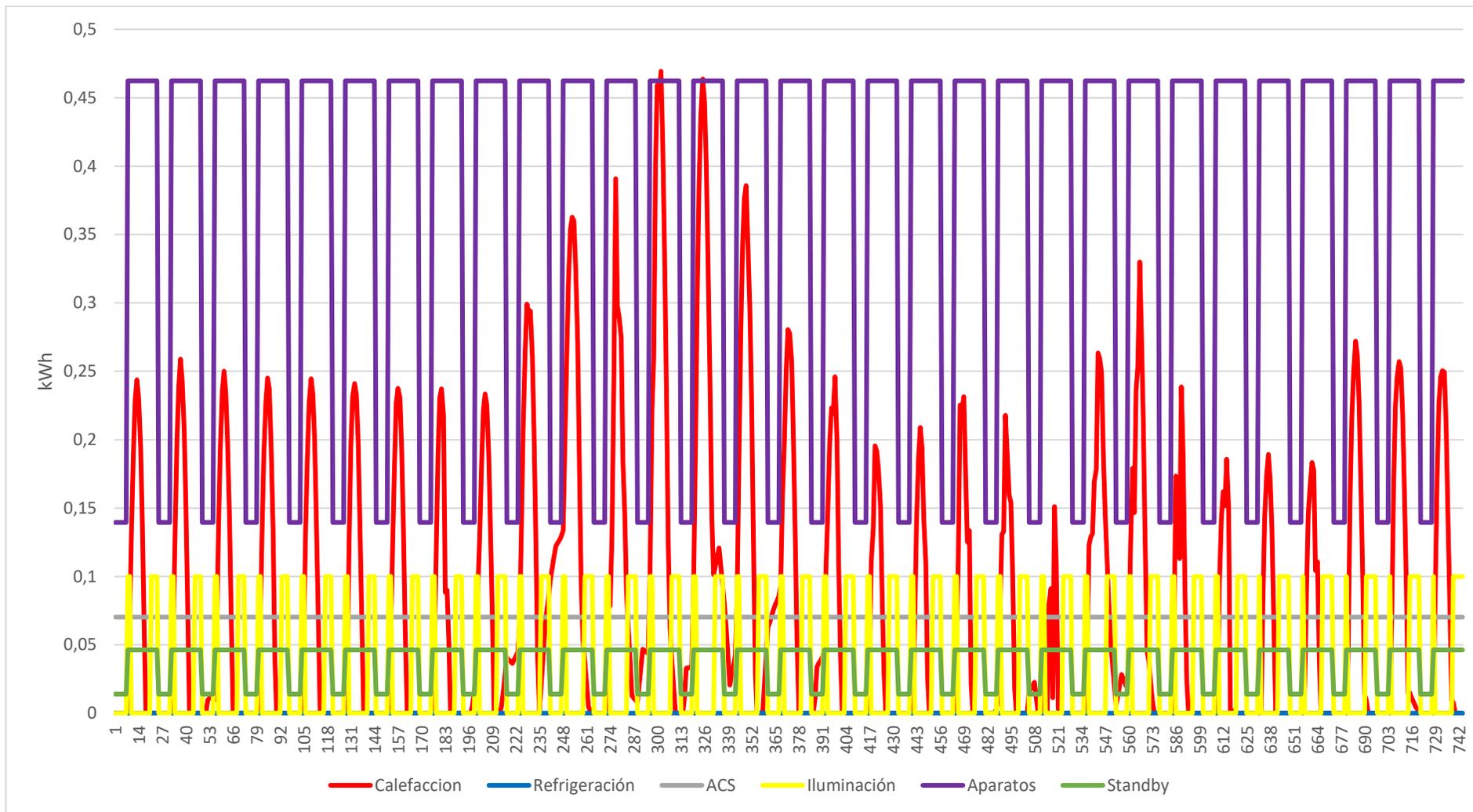


Ilustración 62. Distribución del consumo horario en octubre

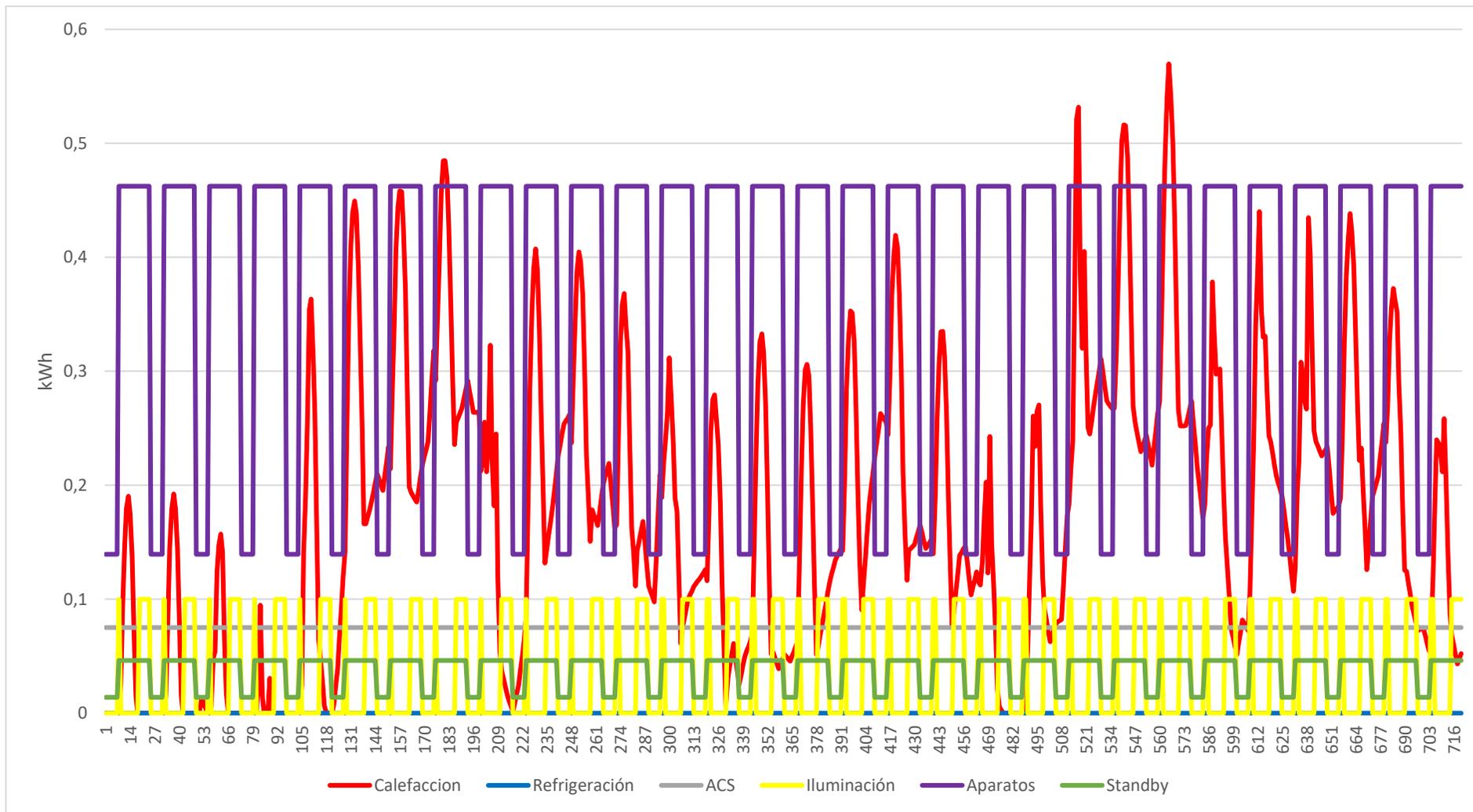


Ilustración 63. Distribución del consumo horario en noviembre

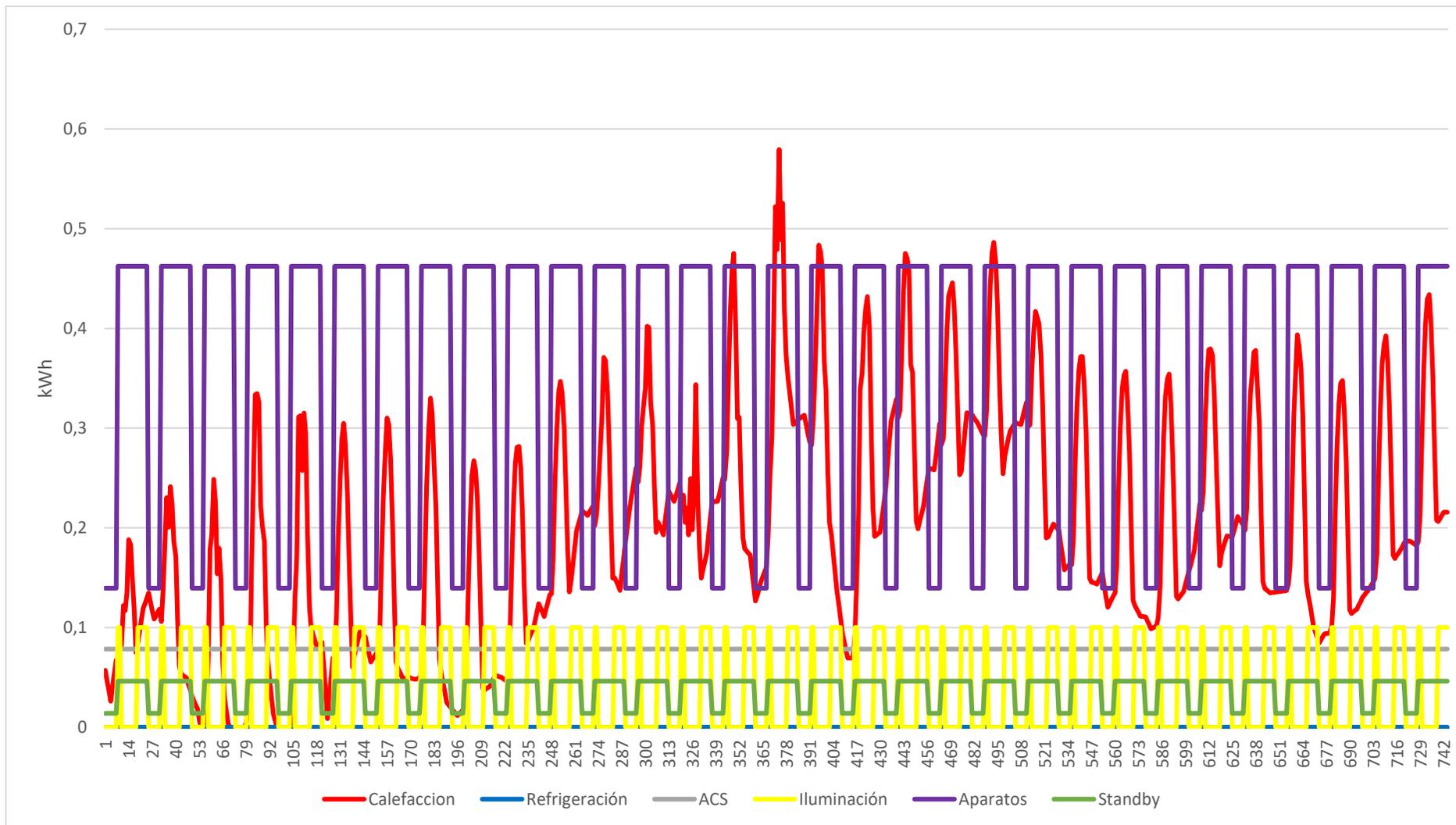
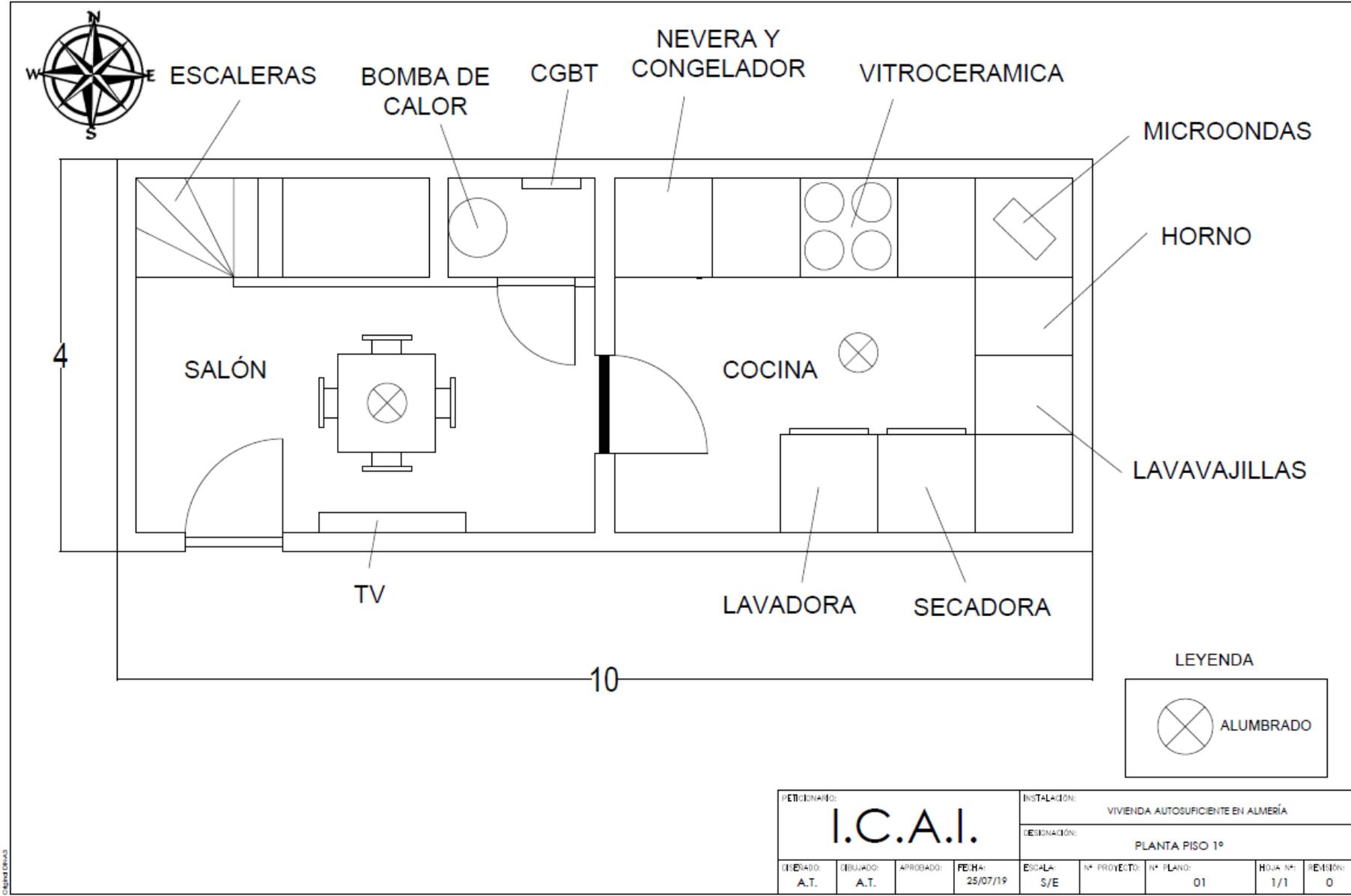


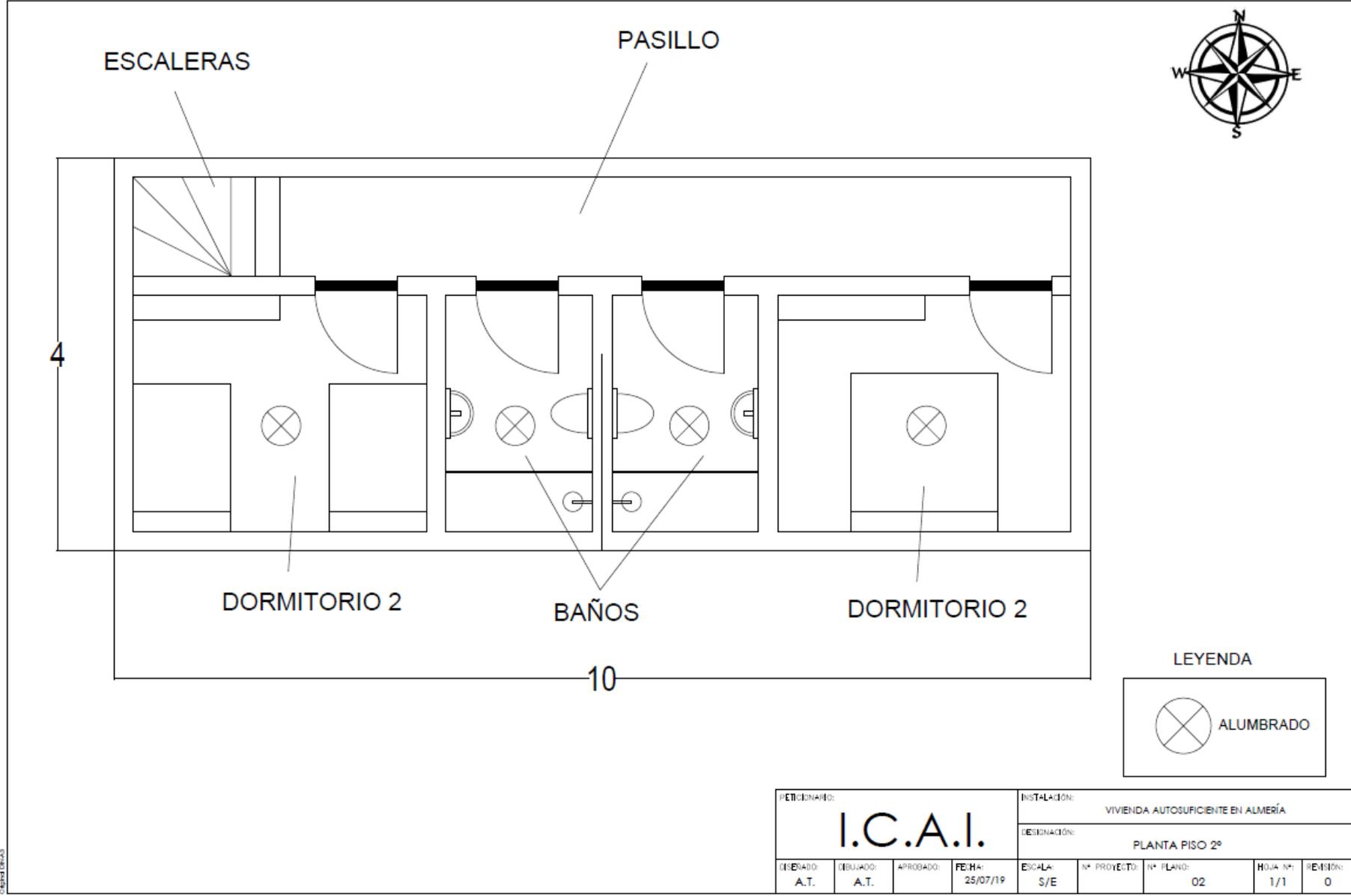
Ilustración 64. Distribución del consumo horario en diciembre

ANEXO 2. PLANOS



PETICIONARIO: I.C.A.I.				INSTALACION: VIVIENDA AUTOSUFICIENTE EN ALMERÍA				
				DESIGNACION: PLANTA PISO 1º				
DISEÑADO: A.T.	DIBUJADO: A.T.	APROBADO: A.T.	FECHA: 25/07/19	ESCALA: S/E	Nº PROYECTO:	Nº PLANO: 01	HOJA Nº: 1/1	REVISION: 0

Original Dev-03



PETICIONARIO: I.C.A.I.				INSTALACION: VIVIENDA AUTOSUFICIENTE EN ALMERÍA				
				DESIGNACION: PLANTA PISO 2º				
DESENADO: A.T.	DEBUJADO: A.T.	APROBADO:	FECHA: 25/07/19	ESCALA: S/E	Nº PROYECTO:	Nº PLANO: 02	HOJA Nº: 1/1	REVISION: 0

ANEXO 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

1. Módulo Fotovoltaico: CS3W-405P HE Canadian Solar
2. Regulador de carga: Studer VT-80 MPPT
3. Baterías: Moll 11 OPzV.Solar 2070 Ah (C100)
4. Inversor: SMA Sunny Island & OH 8 kW 48 V
5. Cuadro de agrupación: STC8 100 A
6. Estructura soporte: FV925-FV925XL
7. Cableado DC: PV ZZ-F/H1Z2Z2-K
8. Cableado AC: 0,6/1 kV RV-K (XLPE)