



## Trabajo Fin de Grado

Estudio técnico y económico del autoconsumo fotovoltaico aplicado a segundas viviendas

Technical and economic study of photovoltaic self-consumption applied to second homes

Autor

Ignacio Rodes Oliva

Director

José Luis Bernal Agustín

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza (EINA)  
2022



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a mi tutor, José Luis Bernal Agustín, por la atención puesta y los medios proporcionados que me han sido de gran utilidad para realizar este Trabajo Fin de Grado. En todo momento se ha ofrecido para ayudarme y resolverme todas las dudas que me surgían a lo largo de estos meses de trabajo. Agradecer también a la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza por todo el material puesto a disposición, tanto para este trabajo como para los futuros.

También me gustaría agradecer, no sólo por este trabajo, sino también por los 4 años del grado, a mi familia y amigos el apoyo proporcionado, sin los cuales todo esto habría sido más complicado.



# **Estudio técnico y económico del autoconsumo fotovoltaico aplicado a segundas viviendas**

## **RESUMEN**

En el presente Trabajo Fin de Grado se realizan el dimensionamiento y análisis de la rentabilidad económica de una instalación de autoconsumo fotovoltaico en una segunda vivienda situada cerca de la ciudad de Zaragoza, más concretamente en el municipio de San Mateo de Gállego.

La creciente preocupación por la incesante subida del precio de la energía y los problemas causados por el cambio climático han motivado que se empiece a plantear de manera más seria la implantación de sistemas de autoconsumo en primeras y segundas viviendas. De esta manera, el objetivo es conseguir un ahorro en la factura eléctrica y contribuir al impulso de las energías renovables produciendo energía limpia. Al hilo de estos problemas, sumado al gran desarrollo de las instalaciones fotovoltaicas, surge la idea de este Trabajo Fin de Grado.

Para comenzar se ha revisado la normativa actual de autoconsumo para viviendas, y se han estudiado los aspectos más relevantes para su implantación en un segunda vivienda, la cuál sólo se usa los fines de semana y en verano. Para realizar el estudio técnico se ha utilizado una hoja de cálculo y los datos de la web Ninja Renewables. Este estará basado en la estimación de perfiles de consumo y determinación de los excedentes que se producen hora a hora, para de esta manera, conociendo el precio de la energía en cada hora, poder averiguar cuál sería la potencia óptima a instalar.

A partir de los resultados energéticos obtenidos se ha procedido a determinar la modalidad de autoconsumo más rentable, y a calcular en cuántos años se conseguiría esta rentabilidad.



# **Technical and economic study of photovoltaic self-consumption applied to second homes**

## **ABSTRACT**

In the present Final Degree Project are both performed the sizing and analysis of the financial profitability of a self-consumption installation for a second home situated near the city of Zaragoza, more concretely in the municipality of San Mateo de Gállego.

The increasing concern about the incessant rise in the price of energy and the problems caused by climate change have motivated to take more into account the implementation of self-consumption installations in first and second homes. The objective is to achieve a saving on the electricity bill and to impulse renewable energies by the generation of clean energy. In line with these problems, added to the great development of photovoltaic installations, the idea of this project arises.

Getting started, the current regulations of self-consumption for housing has been revised, and the most relevant aspects for a second home, which is only used during weekends and summer, have been studied. In order to do the technical study, a spreadsheet and data of the Ninja Renewables website have been used. This is based on profile consumption estimations and determination of the surpluses that are produced each hour, that by knowing the price of the energy in these hours, it can be found out what is the optimal power to install.

From these energetic results it would be determined the most profitable self-consumption modality and calculate in how many years this profitability would be achieved.



# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos y alcance . . . . .	2
<b>2. Contexto energético</b>	<b>3</b>
2.1. La energía solar fotovoltaica en España . . . . .	5
2.2. Precio de la energía eléctrica . . . . .	7
<b>3. Autoconsumo</b>	<b>10</b>
3.1. Modalidades de autoconsumo . . . . .	10
3.1.1. Autoconsumo colectivo . . . . .	12
<b>4. Estudio técnico de la instalación</b>	<b>13</b>
4.1. Situación geográfica . . . . .	14
4.2. Orientación de los módulos . . . . .	14
4.3. Pérdidas de los paneles fotovoltaicos . . . . .	15
4.3.1. Pérdidas de radiación solar por sombras . . . . .	15
4.3.2. Pérdidas por orientación e inclinación . . . . .	17
4.4. Consumo energético de la vivienda . . . . .	18
4.5. Cálculo del número de paneles fotovoltaicos a instalar . . . . .	18
4.5.1. Potencia óptima . . . . .	19
4.6. Dimensionado del inversor . . . . .	20
<b>5. Estudio económico de la instalación</b>	<b>22</b>
5.1. Inversión inicial . . . . .	22
5.2. Ahorro económico . . . . .	23
5.3. Rentabilidad . . . . .	25
<b>6. Conclusiones</b>	<b>27</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>29</b>

<b>Lista de Figuras</b>	<b>32</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>33</b>
<b>Anexos</b>	<b>34</b>
<b>A. Estimación consumo energético</b>	<b>35</b>
<b>B. Ficha técnica Isofotón ISF-255</b>	<b>37</b>
<b>C. Modelo factura eléctrica 2.55 kWp</b>	<b>40</b>
<b>D. Ficha técnica inversor</b>	<b>43</b>
<b>E. VAN y TIR para instalación de autoconsumo de 2.55 kWp</b>	<b>46</b>

# Capítulo 1

## Introducción

En los últimos años se ha visto como la generación de energía eléctrica ha ido sufriendo paulatinamente un cambio, desde una economía carbonizada a una descarbonización en la que las energías renovables han sido las protagonistas. Uno de los motivos que han incitado esto ha sido la gran preocupación causada por el cambio climático, que ya venía siendo un problema años atrás y lo continúa siendo en la actualidad.

Para tratar de frenar esta situación se han celebrado varias Conferencias de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático, siendo la primera la celebrada en Río de Janeiro en 1992 [1], y la última la que se produjo en Glasgow en 2021 [2]. En estos tratados se tienen muy en cuenta los Objetivos y metas de Desarrollo Sostenible a implantar antes del 2030, entre los cuáles es de especial importancia para este Trabajo Fin de Grado el objetivo 7, 'Energía asequible y no contaminante' [3]. La energía fotovoltaica supone un impulso para tratar de alcanzar ese objetivo, ya que junto a la energía eólica y la hidráulica, son las fuentes de energía renovable más importantes hasta la fecha.

La tecnología relacionada con la producción fotovoltaica de energía eléctrica ha evolucionado a pasos agigantados en los últimos años. Se han ido mejorando poco a poco la eficiencia de los módulos y de las celdas solares, batiéndose el récord de eficiencia en diciembre de 2021 por la empresa SunDrive, de origen australiano, la cuál ha conseguido el récord mundial de eficiencia de las celdas, con un 25,54 % [4]. Todos estos avances están contribuyendo a que el precio de este tipo de instalaciones baje y sean más rentables, lo que haga que cada día más personas se planteen de manera más seria la instalación de este tipo de sistemas en sus viviendas o empresas para poder conseguir un ahorro en la factura eléctrica y promover la producción de energía limpia.

## 1.1. Objetivos y alcance

En el presente Trabajo Fin de Grado se pretenden alcanzar dos objetivos fundamentales, que son el ahorro económico en la factura eléctrica, y la contribución a la producción de energía eléctrica limpia. Se va a estudiar la rentabilidad de este tipo de instalaciones en segundas viviendas, que destacan por tener un consumo muy desigual en diferentes días, ya que en nuestro caso, se va a tratar una vivienda la cuál sólo está ocupada los fines de semana y los meses de julio y agosto. En España, el 12% de las viviendas son segundas residencias [5], lo que supone un gran número de superficies dónde poder colocar sistemas de producción de energía fotovoltaica. La rentabilidad de instalaciones de este tipo en primeras viviendas está completamente demostrada, por ello una de las motivaciones de este trabajo ha sido estudiarla para viviendas con un menor uso, y poder así incentivar a que propietarios de segundas viviendas instalen sistemas de producción eléctrica fotovoltaica. Se estudiará la modalidad de autoconsumo con excedentes acogido a compensación, ya que, teniendo en cuenta que durante gran parte del año la vivienda estará vacía, convendrá inyectar energía eléctrica en la red a cambio de una compensación en la factura eléctrica.

El primer paso antes de poder realizar la instalación de un sistema de estas características es dimensionarlo correctamente, para ello se ha utilizado una hoja de cálculo con datos de irradiancia de la web Ninja Renewables, la cuál da resultados sobre producción eléctrica fotovoltaica hora a hora a partir de los parámetros característicos de la instalación. Esta web ofrece resultados a partir de la base de datos 'merra2', que son los proporcionados por la NASA. Con estos, y conociendo los precios de la energía eléctrica hora a hora [6], y lo que se paga hora a hora por la energía excedentaria [7], se obtendrán resultados importantes para el dimensionado. Después, en otra hoja de cálculo, se calculará la factura eléctrica de cada mes, para de esta manera poder conocer que potencia instalada sería la óptima.

Tras el estudio técnico se ha realizado un estudio económico para poder conocer la viabilidad y rentabilidad de un proyecto de este tipo, y que de esta manera, cualquier consumidor doméstico pueda tomar este trabajo como modelo tipo y poder hacer estimaciones sobre la potencia óptima a instalar en su caso, y conocer en cuantos años la amortizaría.

# Capítulo 2

## Contexto energético

En los últimos años la energía solar fotovoltaica ha crecido de manera exponencial en todo el mundo, sobre todo en aquellos países en los que la incidencia de los rayos del Sol es mayor. Los últimos informes contienen datos al cierre de 2020, y se concluye que la potencia mundial instalada al final de ese año es de 760 GW en todo el mundo, habiendo batido ese mismo año el récord de potencia instalada en un año, que es de 139 GW en el año 2020.

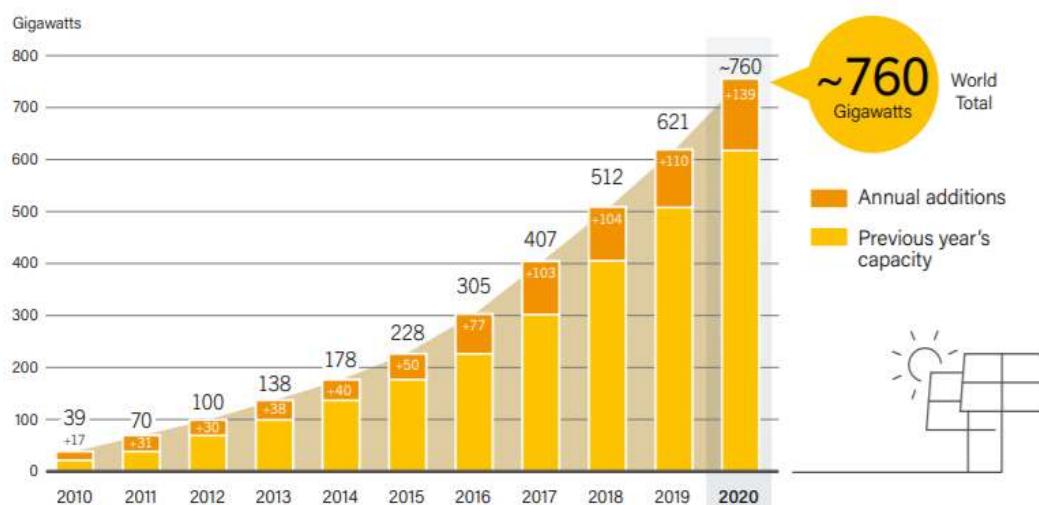


Figura 2.1: Evolución de la FV instalada en el mundo [8]

Esta energía ha sido una de las más desarrolladas e investigadas en estos últimos años, y es por ello que, si se compara la solar fotovoltaica con el resto de energías renovables, vemos que en cuanto a potencia instalada sólo está superada por la energía hidráulica, y seguida muy de cerca por la eólica, que estos últimos años ha visto muy mermado su desarrollo en comparación con la fotovoltaica. Si la tendencia sigue como hasta ahora, la hidráulica se verá superada en unos años.

A pesar de ello, no existe una energía renovable que sea mejor que otra o que pueda hacer que desaparezcan el resto, ya que estas son complementarias. Estas dependen de la naturaleza, y por ejemplo, si un año es muy lluvioso, la energía hidráulica se verá potenciada mientras que la solar fotovoltaica, debido a la presencia de nubes, disminuirá su producción. Otro gran ejemplo de que son complementarias es que la producción solar fotovoltaica es nula por la noche, mientras que durante el día es máxima, en cambio, la eólica aumenta su producción por las noches debido a la presencia de mayores rachas de viento.

		2019	2020
<b>INVESTMENT</b>			
New investment (annual) in renewable power and fuels <sup>1</sup>	billion USD	298.4	<b>303.5</b>
<b>POWER</b>			
Renewable power capacity (including hydropower)	GW	2,581	<b>2,838</b>
Renewable power capacity (not including hydropower)	GW	1,430	<b>1,668</b>
Hydropower capacity <sup>2</sup>	GW	1,150	<b>1,170</b>
Solar PV capacity <sup>3</sup>	GW	621	<b>760</b>
Wind power capacity	GW	650	<b>743</b>
Bio-power capacity	GW	137	<b>145</b>
Geothermal power capacity	GW	14.0	<b>14.1</b>
Concentrating solar thermal power (CSP) capacity	GW	6.1	<b>6.2</b>
Ocean power capacity	GW	0.5	<b>0.5</b>

Figura 2.2: Potencia instalada de energías renovables en el mundo 2019 y 2020 [8]

Si se desglosa por países, se puede apreciar que los que más capacidad instalada tienen son aquellos con economías más potentes y con bastante Sol durante todo el año, siendo China la que más ha aumentado su producción.

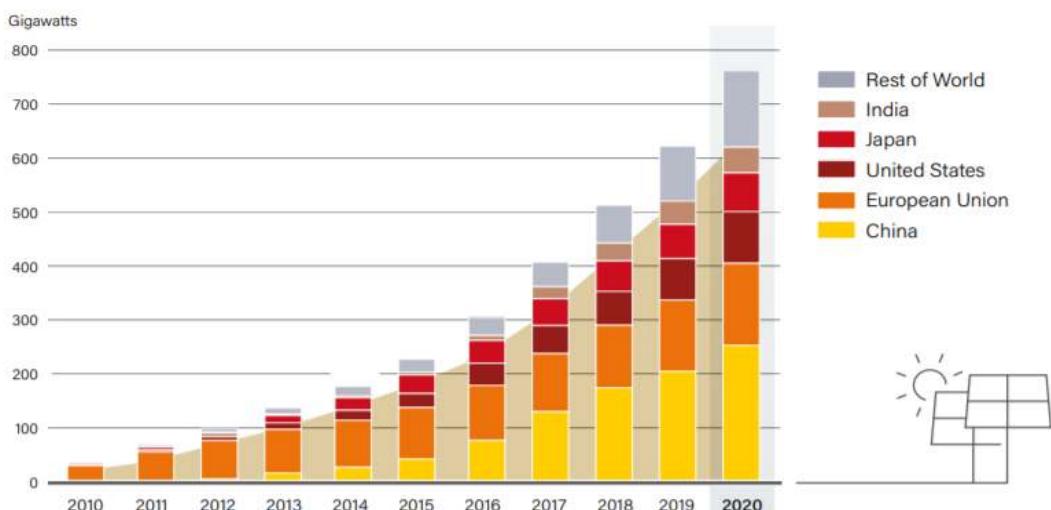


Figura 2.3: Potencia de FV instalada por países [8]

Todo este gran desarrollo e innovación tecnológicos y la economía de escala, han hecho que año a año el precio a pagar por los paneles solares haya disminuido enormemente, y que de esta manera sea mucho más rentable realizar un instalación de este tipo. Desde el año 1976, hasta el 2019, se ha conseguido una reducción del precio del Watio (W) de los módulos solares fotovoltaicos de un 99,6 %, con cifras por debajo del medio dólar americano.

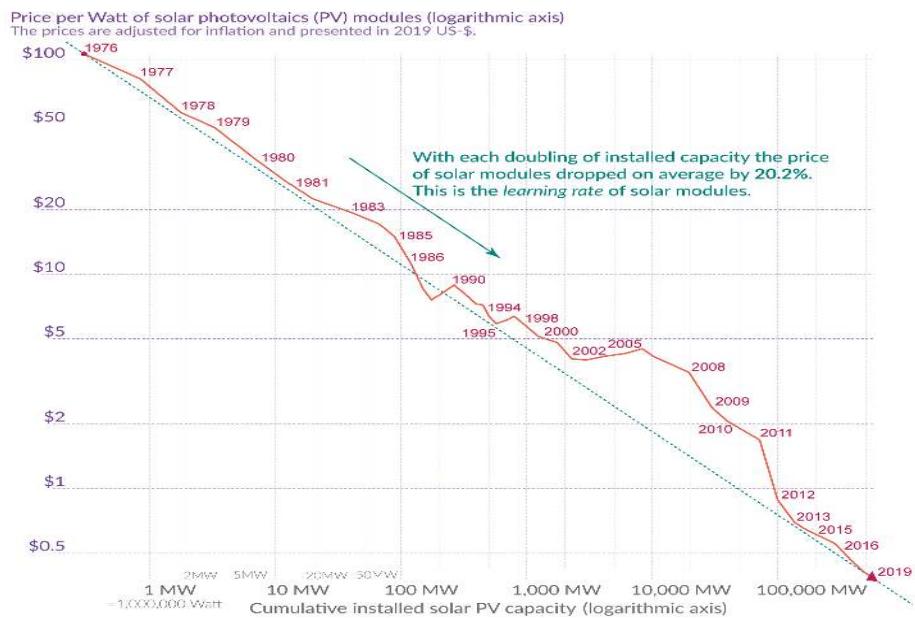


Figura 2.4: Curva de aprendizaje de la celda solar desde 1976 hasta 2019 [9]

## 2.1. La energía solar fotovoltaica en España

España es un país que presume de tener buenas condiciones climatológicas en comparación con muchos de los países de Europa, ya que tiene más horas de Sol durante el año. Es por esto que *"en 2020, la solar ha registrado valores históricos máximos tanto en potencia instalada como en generación. Cerró el año como la tercera fuente renovable de generación eléctrica en España con 14.018 MW de capacidad instalada. Esta tecnología ya representa casi el 13 % de la potencia instalada a nivel nacional y casi un 8 % del total de generación"* [10]. De estos 14.018 MW, 2.304 MW se corresponden con solar térmica, y 11.714 MW se corresponden con solar fotovoltaica, que es lo que se va a tratar.

Es verdad que el gran auge de instalaciones fotovoltaicas se produjo en 2019, pero no fue hasta 2020 cuando empezaron a producir energía, y es por ello que en ese año la generación de energía eléctrica fotovoltaica aumentó un 68,5 % en comparación con el año 2019.

Si se echa la vista años atrás, se puede ver que la evolución de la generación eléctrica solar comenzó en 2008, cuando se instalaron más de 2000 MW. Desde entonces, debido a la crisis financiera, se frenó el desarrollo, pero ya en 2019, a pesar de la llegada de la pandemia, esta volvió a crecer y ha seguido haciéndolo hasta hoy.

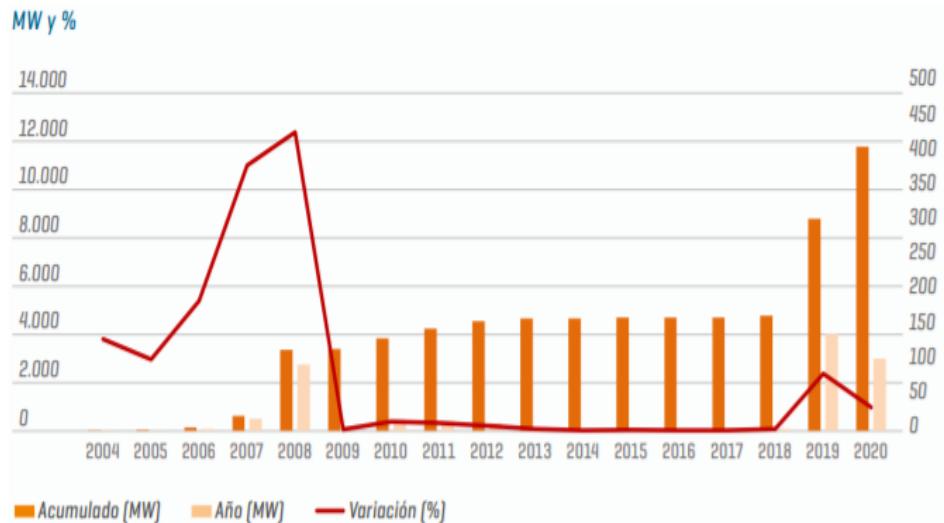


Figura 2.5: Evolución potencia solar fotovoltaica instalada en España [10]

Sabiendo que España ofrece grandes oportunidades para el desarrollo de esta tecnología, cabe destacar que no todas las regiones ofrecen las mismas oportunidades. Si se comparan por ejemplo Cádiz y Bilbao, en Cádiz tienen más horas de Sol y menos nubes en promedio que Bilbao, por lo que supondrá un lugar más adecuado para instalaciones de este tipo.

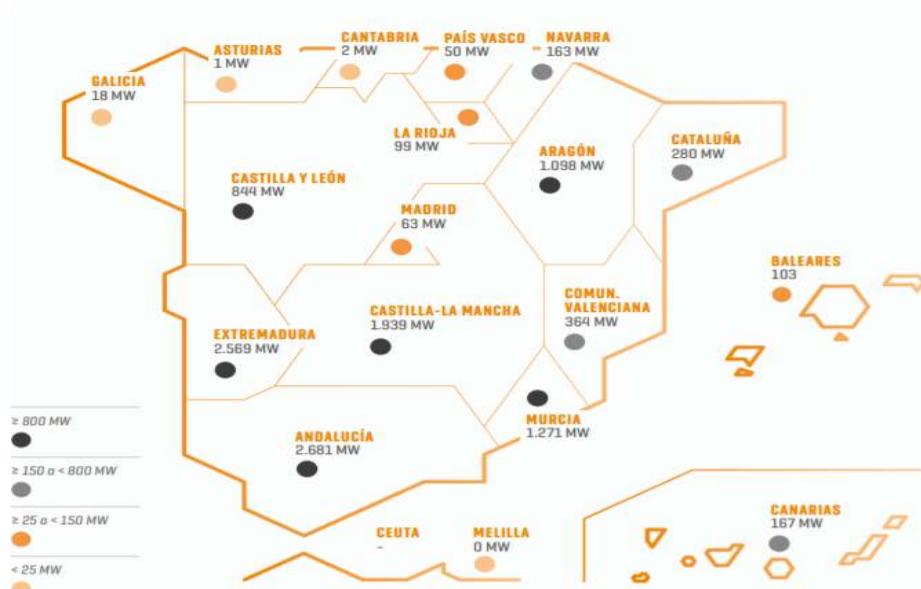


Figura 2.6: Potencia solar fotovoltaica instalada por comunidades [10]

La instalación fotovoltaica que se va a estudiar en este trabajo va a estar situada en Aragón, que es una de las Comunidades Autónomas de España dónde mayor potencia de solar fotovoltaica hay instalada, más concretamente 1.098 MW. Si se observa la figura 2.6, se puede ver que hay mucha diferencia de potencia instalada entre unas comunidades y otras, pero esto no es coincidencia, sino que tiene que ver con el ejemplo planteado anteriormente entre Cádiz y Bilbao. Una misma instalación fotovoltaica en 2 lugares distintos generará más en aquel en el cuál reciba mayor cantidad de radiación, y es que en España se diferencian hasta 5 zonas climáticas distintas.

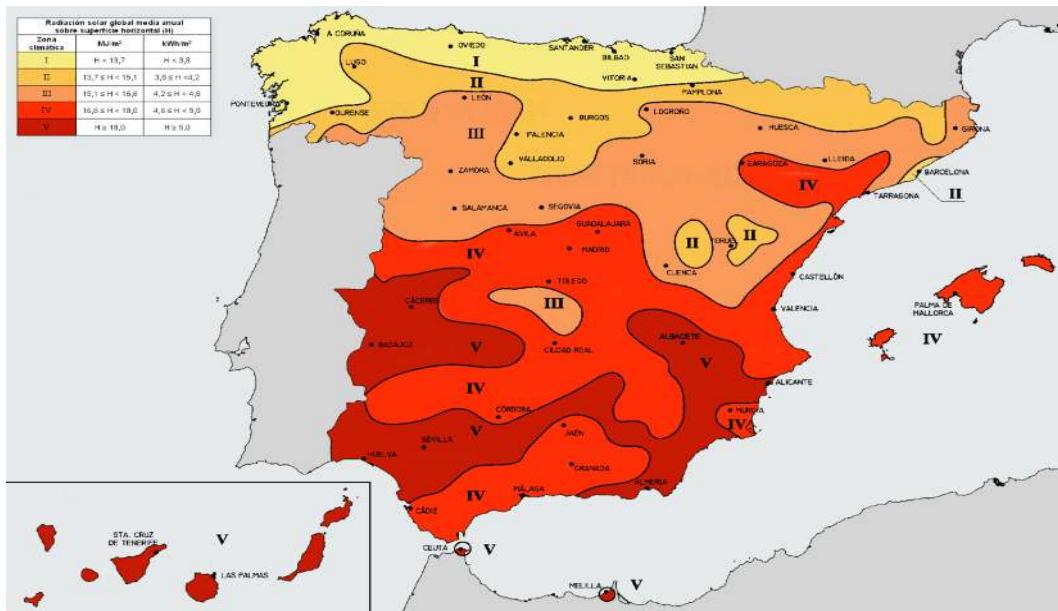


Figura 2.7: Zonas climáticas España [11]

## 2.2. Precio de la energía eléctrica

Uno de los objetivos de este trabajo fin de grado era ofrecer una posible solución, mediante una instalación de autoconsumo fotovoltaica, para hacer frente a los altos precios de la energía eléctrica actuales.

Esta situación no siempre ha sido así, pero desde el 1 de junio de 2021, coincidiendo con la entrada en vigor de la nueva forma de calcular la factura eléctrica, se comenzó a apreciar un aumento progresivo del precio de la energía para aquellos consumidores acogidos al PVPC. En la figura 2.8 se puede ver como, a partir de junio, el precio comienza a subir, pero es en el mes de octubre cuando ya definitivamente se dispara, llegando a tener algún día en diciembre dónde se alcanzan los 500 €/MWh, cifra que llega a ser 5 veces superior a lo que se tenía a principios de ese mismo año.

La nueva forma de calcular la factura eléctrica aplica la nueva estructura de peajes y cargos de los términos de energía y de potencia de la factura de electricidad. Además incluye una novedad, los tramos horarios, que distinguen entre punta, llano y valle, dónde punta será el tramo dónde más se pagará por la energía eléctrica y llano dónde menos. Esto dependerá de las horas en las que se realice el consumo y de si se realiza en día laborable o festivo [24].

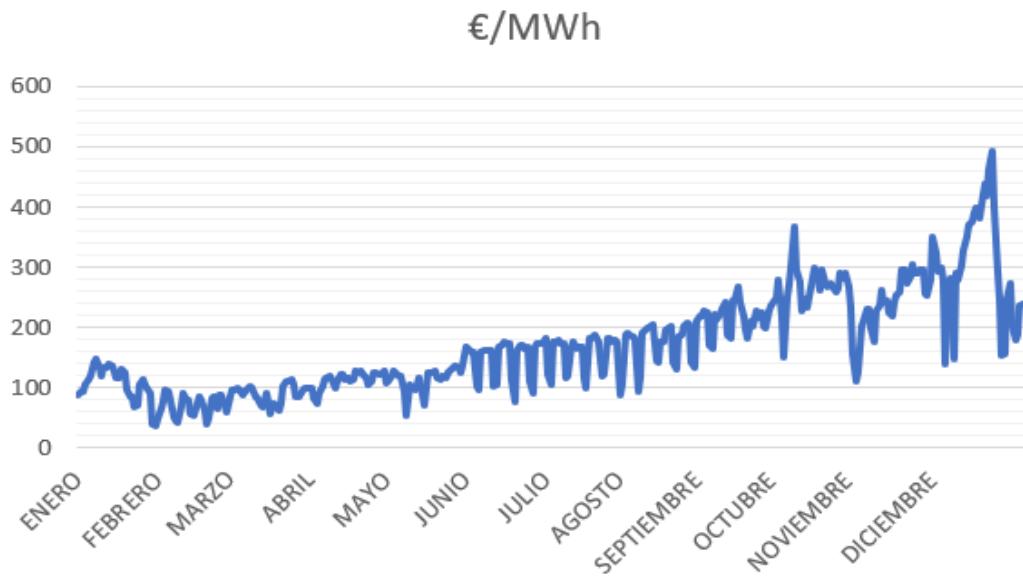


Figura 2.8: Evolución del precio de la energía eléctrica en el PVPC [Elaboración propia]

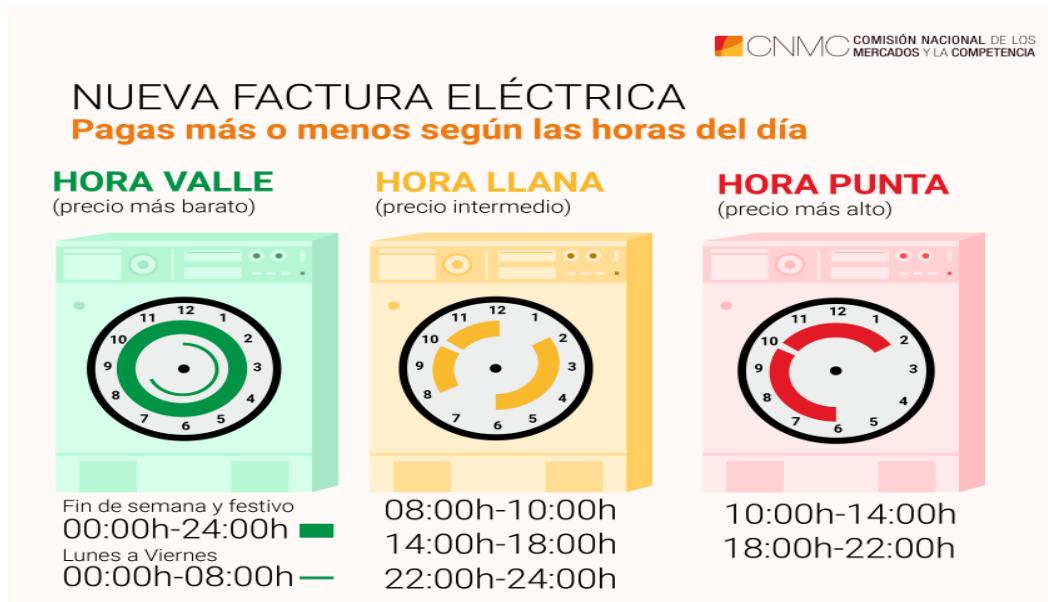


Figura 2.9: Tramos horarios [24]

Es por esto que, teniendo en cuenta la tendencia al alza de los precios de la energía en el mercado eléctrico, para la realización del presente trabajo fin de grado se han

adecuado los precios de la primera mitad del año 2021 para obtener una visión más realista de los resultados que se obtendrían en un escenario económico como el actual.

Para conseguir esto se han comparado los precios de la energía en el año 2019 entre los diferentes meses, cuándo la situación era más estable, y se ha puesto la misma diferencia porcentual entre ellos para el año 2021. De esta manera, conociendo los valores del segundo semestre de 2021, que sí se ajustan a la realidad actual, y conociendo la diferencia que suele haber en un año estable entre estos meses y los de la primera mitad del año, se han supuesto los valores del precio de la energía eléctrica para el primer semestre del 2021. A consecuencia de esto, también ha habido que modificar el precio de la energía excedentaria, que se ha supuesto que es 0.7 veces el precio de la energía eléctrica del PVPC.

# Capítulo 3

## Autoconsumo

*"El autoconsumo eléctrico permite a cualquier persona o empresa producir y consumir su propia electricidad instalando en su hogar, local o comunidad de vecinos paneles solares fotovoltaicos u otros sistemas de generación renovable"* [12].

El 5 de abril de 2019 entró en vigor en España el Real Decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones de autoconsumo, que a día de hoy aún sigue vigente. En particular desarrolla [12]:

- Las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.
- Define las instalaciones próximas a efectos de autoconsumo.
- Desarrolla el autoconsumo individual y colectivo.
- Establece un sistema de compensación simplificada entre los déficits de los consumidores y los excedentes de sus instalaciones de autoconsumo.
- Organiza el registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica así como su procedimiento de inscripción que no supondrá carga administrativa para los consumidores.

### 3.1. Modalidades de autoconsumo

Las modalidades a las que deben pertenecer las instalaciones de autoconsumo están reguladas dentro del Real Decreto 244/2019. En este se diferencian claramente todas las opciones que hay y cuál es más conveniente en función de sus necesidades o de las condiciones que cumple. Estas se pueden englobar dentro de dos grupos, aquellas que están conectadas a la red, y aquellas que se encuentran aisladas. Para empezar se diferencian entre:

1. **Autoconsumo con excedentes:** cuando las instalaciones de generación, aparte de producir energía para ser consumida, pueden inyectar energía a la red.
2. **Autoconsumo sin excedentes:** en esta modalidad existe un sistema antivertido que impide que se inyecte energía eléctrica a la red, y suelen ir acompañados de baterías.

Después, si se desglosa la modalidad de autoconsumo con excedentes, nos encontramos que existen aquellos acogidos a compensación y los que no lo están:

- **Autoconsumo con excedentes acogido a compensación:** en esta modalidad, toda aquella energía que no se consume de manera instantánea mientras se genera, se inyecta en la red, para de esta manera recibir una compensación que se verá reflejada en la factura eléctrica del consumidor. Si se generan demasiados excedentes, en el momento que la factura ya se haya compensado al completo, se le dejará de pagar al consumidor, y en ese momento la energía que vierta a la red la estará 'regalando'.
- **Autoconsumo con excedentes no acogido a compensación:** en este caso los excedentes se venden directamente en el mercado eléctrico. A esta modalidad se acogen aquellas instalaciones que no cumplen algún requisito para pertenecer a la modalidad anterior, o que lo han decidido de manera voluntaria.

En el presente Trabajo Fin de Grado, aunque se contemplará alguna otra modalidad de autoconsumo entre las mencionadas anteriormente, se va a tomar para la instalación a estudiar, cómo modalidad más adecuada, la de autoconsumo con excedentes acogido a compensación. Para ello, debe cumplir los siguientes requisitos [13]:

1. Tengan una potencia no superior a 100 kW.
2. Estén asociadas a modalidades de suministro con autoconsumo.
3. El consumidor haya suscrito un único contrato de suministro para el consumo asociado y para los consumos auxiliares con una empresa comercializadora
4. El consumidor y productor asociado hayan suscrito un contrato de compensación de excedentes de autoconsumo definido en el artículo 14 del presente real decreto.
5. La instalación de producción no tenga otorgado un régimen retributivo adicional o específico.

### 3.1.1. Autoconsumo colectivo

Hasta ahora siempre se había hablado de autoconsumo individual, en el cual el beneficiario era una sola persona o una empresa. Pero es interesante mencionar que el real decreto habilita otras diversas configuraciones para las instalaciones de generación, entre las que se encuentra el autoconsumo colectivo. El Real Decreto 244/2019, del 5 de abril, establece que *"un sujeto consumidor participa en un autoconsumo colectivo cuando pertenece a un grupo de varios consumidores que se alimentan, de forma acordada, de energía eléctrica que proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos"* [12].

Un ejemplo de autoconsumo colectivo son las comunidades energéticas, las cuáles pueden ser comunidades de vecinos, un barrio o un polígono industrial, y todas tienen el mismo objetivo, que es aprovecharse colectivamente de las mismas instalaciones de generación situadas en el entorno de dicha comunidad y proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde operan, en lugar de ganancias financieras. Las principales actividades que se llevan a cabo en estas comunidades son generar energía procedente de fuentes renovables, proporcionar servicios de eficiencia energética, prestación de servicios de recarga de vehículos eléctricos y suministro, consumo, agregación y almacenamiento de energía y potencialmente distribución.

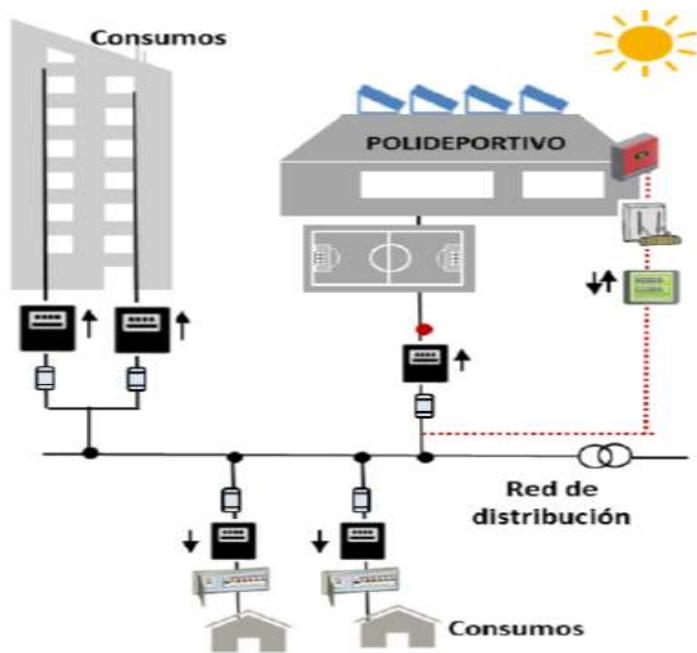


Figura 3.1: Autoconsumo colectivo a través de red [12]

# Capítulo 4

## Estudio técnico de la instalación

Para realizar el dimensionado de la instalación se ha utilizado una hoja de cálculo proporcionada por la web Ninja Renewables, la cuál permite ajustar los parámetros de localización de la instalación, la capacidad total a instalar, la pérdidas, la inclinación de las placas, su ángulo azimuth y si estas tienen o no seguimiento en uno o dos ejes. Tras introducir todos estos datos, la hoja de cálculo devuelve información de la producción energética hora a hora que daría la instalación. Para ello toma los datos de irradiancia de la base de datos 'merra2' que proporciona la NASA, por lo que se puede concluir que los datos serán bastante precisos y permitirán realizar un estudio bastante exacto sobre las necesidades de la vivienda.

El caso a estudiar consiste en una vivienda unifamiliar que se utiliza como segunda casa los fines de semana y los meses de julio y agosto. Es por esto que se mantendrá vacía y con un consumo eléctrico prácticamente nulo durante todo el año, por lo que dimensionar correctamente la instalación fotovoltaica será muy importante.



Figura 4.1: Vivienda de estudio [Elaboración propia]

## 4.1. Situación geográfica

La vivienda se encuentra situada en San Mateo de Gállego, un municipio de Zaragoza, España. Las características geográficas de este emplazamiento son:

- **Latitud:** 41.8306
- **Longitud:** -0.769073

Atendiendo a la figura 2.7, se puede ver que la zona mencionada se corresponde con una zona climática IV, por lo que se puede considerar un buen emplazamiento para instalaciones de este tipo.

## 4.2. Orientación de los módulos

La idea para esta vivienda es instalar los módulos fotovoltaicos en el tejado sin seguimiento, por lo que habrá que calcular cuál es la inclinación y el ángulo azimuth óptimos para las placas, para de esta manera poder captar toda la energía solar posible.

- El tejado está orientado al Sur, por tanto, como la vivienda se encuentra situada en el hemisferio Norte, el ángulo azimuth ( $\alpha$ ) tendrá que ser igual a  $0^\circ$ .
- El  $\beta$  óptimo se calculará utilizando la ecuación 4.1 [15], donde  $\varphi$  es la latitud del emplazamiento. Se obtiene por tanto un ángulo de inclinación óptimo ( $\beta$ ) de  $32.56^\circ$ .

$$\beta = 3,7 + 0,69\varphi \quad (4.1)$$

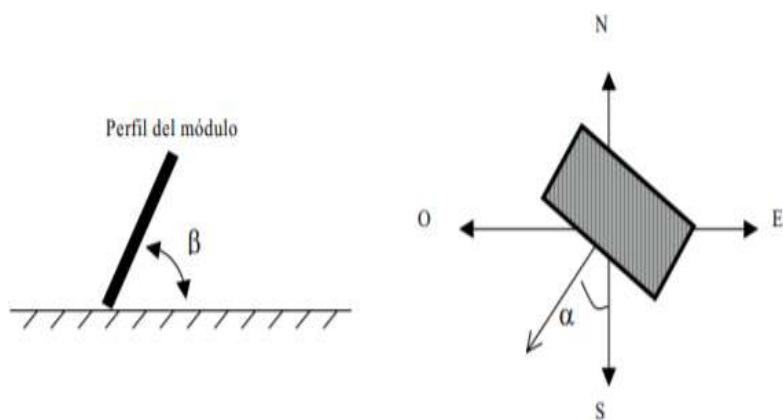


Figura 4.2: Inclinación y orientación de los módulos [14]

Viendo que el ángulo de inclinación óptimo que hemos obtenido es de  $32.56^{\circ}$ , y que el tejado tiene una inclinación de  $30^{\circ}$ , se ha decidido realizar superposición con el tejado y no utilizar soportes que doten a las placas de ese ángulo óptimo, ya que realmente la diferencia de captación solar será mínima. Además, no sólo se ahorrará dinero en los soportes, sino que además, debido a que los módulos estarán colocados paralelamente al tejado, será más difícil la entrada de suciedad debajo de estos y las corrientes de viento no les afectarán tanto.

## 4.3. Pérdidas de los paneles fotovoltaicos

Uno de los parámetros a introducir en la hoja de cálculo es el de pérdidas. Principalmente se diferencian dos tipos de pérdidas, las que tienen que ver con la orientación y la inclinación, y las que tienen que ver con las sombras. A pesar de eso, aunque en este estudio se van a considerar mínimas, también podrían existir pérdidas por suciedad, reflectancia angular, temperatura o mismatch, que tiene que ver con las conexiones serie o paralelo entre módulos con potencias ligeramente diferentes [15]. Se van a considerar de un 3 %.

Dependiendo de la disposición de los módulos, habrá que tener en cuenta una pérdidas límite para que se pueda llevar a cabo el proyecto, ya que debe cumplir los mínimos exigidos por el Código Técnico de Edificación en materia de Ahorro de Energía.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 4.1: Pérdidas límite [14]

En conclusión, cómo las pérdidas totales se van a suponer del 10 %, y el estudio trata un caso de superposición, no se alcanzará el valor límite de pérdidas que es del 30 %.

### 4.3.1. Pérdidas de radiación solar por sombras

Estas pérdidas son bastante importantes para instalaciones que están rodeadas de edificios altos dentro de ciudades, o en el caso de que haya montañas altas y árboles a su alrededor, entre otros. Para el caso de estudio, estas pérdidas son prácticamente nulas, y cómo mucho se podrían tener en cuenta la presencia de montañas en el

horizonte a muchos kilómetros, ya que no destacan la presencia de otros edificios altos a su alrededor. Aún así, se va a comentar brevemente cómo se calcularían, y para el estudio se van a suponer de un 2 % por lo mencionado anteriormente.

El procedimiento consiste en la comparación del perfil de obstáculos que afecta a la superficie de estudio con el diagrama de trayectorias del sol. Para poder calcularlas habrá que representar sobre la figura 4.3 este perfil de obstáculos, y después habrá que acudir a las tablas del apéndice B del Documento Básico HE Ahorro de Energía [14], y escoger la más adecuada para la instalación que se está estudiando.

La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Las pérdidas serán la suma de las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de occultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores 0,25, 0,50, 0,75 ó 1.

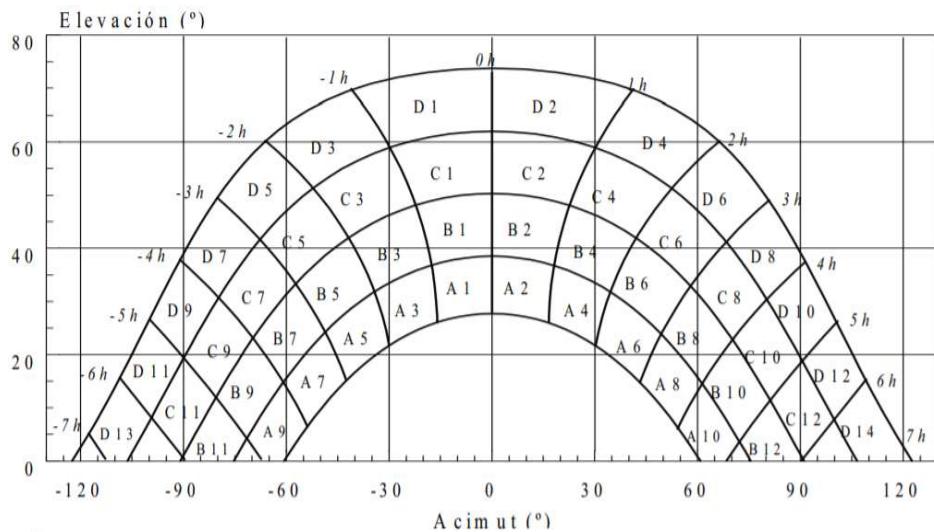


Figura 4.3: Diagrama de trayectorias del sol [14]

### 4.3.2. Pérdidas por orientación e inclinación

Tras determinar el ángulo azimuth, se van a calcular los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecidas. La figura 4.2 sirve para latitudes de  $41^{\circ}$ , como es el caso de la vivienda que se está estudiando. Para  $\alpha$  de  $0^{\circ}$ , mirando la figura se puede obtener que para inclinaciones de entre  $15^{\circ}$  y  $50^{\circ}$ , las pérdidas serían como máximo del 5% por orientación e inclinación, que se corresponde con el caso de estudio.

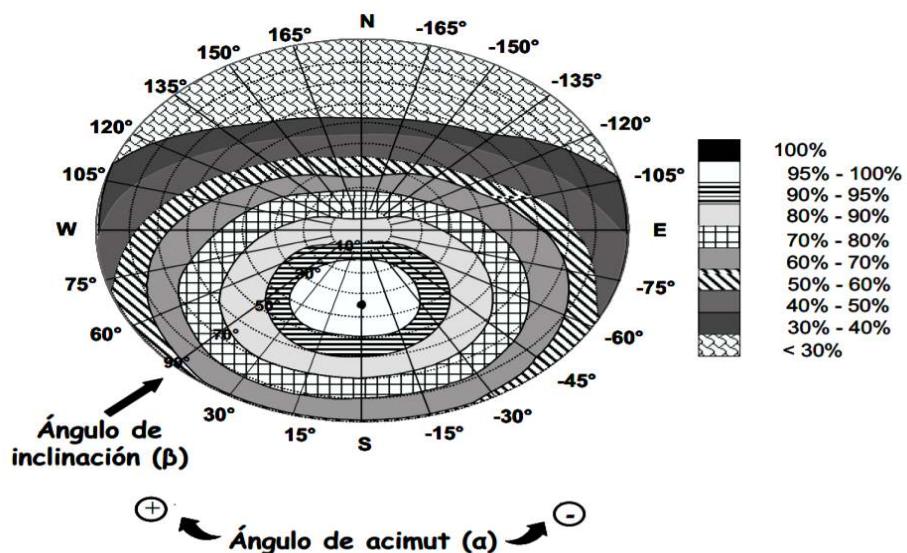


Figura 4.4: Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación [14]

## **4.4. Consumo energético de la vivienda**

Uno de los resultados más importantes que se busca en el dimensionado de la instalación, por no decir el más importante, es conocer cuál es la potencia a instalar, que estará directamente relacionado con la cantidad de módulos fotovoltaicos que habrá que colocar. Para poder obtener esto hará falta conocer los consumos de la vivienda durante todas las horas del año. La estimación de estos consumos se desarrollará en el Anexo A, dónde se incluirán todas las luminarias y aparatos que consumen energía eléctrica en la vivienda.

La estimación de consumo se ha hecho hora a hora, ya que la hoja de cálculo proporciona datos de generación eléctrica en ese mismo lapso de tiempo. Estos consumos se han supuesto conocidos y se han como cogido de ejemplo los del autor del trabajo, que ha diferenciado 3 épocas del año distintas para los consumos (primavera/otoño, verano e invierno), ya que dependiendo de la época habrá aparatos que no se usarán y por tanto no consumirán energía eléctrica, como por ejemplo los ventiladores en invierno. Será muy importante tener en cuenta que en verano, en comparación con el resto de meses, el consumo será muy superior por el hecho de que la vivienda estará ocupada todos los días de los meses de julio y agosto.

## **4.5. Cálculo del número de paneles fotovoltaicos a instalar**

Para comenzar con el dimensionado del número de módulos óptimo a instalar se tiene que tener en cuenta la superficie efectiva de tejado en la que se pueden instalar paneles. Para el estudio se han elegido los de la marca Isofotón, más concretamente el modelo ISF-255, con una potencia nominal de 255 W. La ficha técnica de este módulo se encuentra en el Anexo B, dónde se pueden ver que las dimensiones de la placa son 1667 x 994 x 45 mm.

Como el estudio se realiza sobre una vivienda real, se ha podido medir la superficie efectiva de tejado que es de  $53.6\text{ m}^2$ . Conocidos este dato y las dimensiones de los módulos, se podrían instalar como máximo 32 módulos en el tejado, lo que equivaldría a una potencia de 8.16 kWp. Este valor no se corresponde con el óptimo, sino que sería el máximo que se podría llegar a instalar, el cuál seguramente estará muy por encima de la potencia a instalar en la vivienda de estudio.

El objetivo, para poder conocer la potencia a instalar, va a ser que en ningún caso haya algún mes en el que el total de la factura eléctrica acabe por debajo de 0 euros, ya que ya se ha explicado anteriormente que a partir de que se compense la factura por completo, por el resto de energía eléctrica vertida red no se recibiría compensación alguna, por lo que el mínimo a pagar mensualmente será de 0 euros. Se ha considerado esta condición como condición límite para que no haya meses en los que la instalación de autoconsumo este produciendo energía que no consume o por la que no se recibe compensación.

#### 4.5.1. Potencia óptima

Atendiendo a los datos proporcionados por la hoja de cálculo de Ninja Renewables, el mes con menores consumos y mayor energía excedentaria es junio. En el caso de sobredimensionar la instalación, e instalar una mayor cantidad de paneles de los necesarios, el mes en el que más energía se estará inyectando a la red por la que no se recibirá compensación será junio, y por tanto este será el mes para el que se irán probando las distintas potencias a instalar hasta obtener una en la que la factura eléctrica sea lo más cerca a 0, pero sin superarlo.

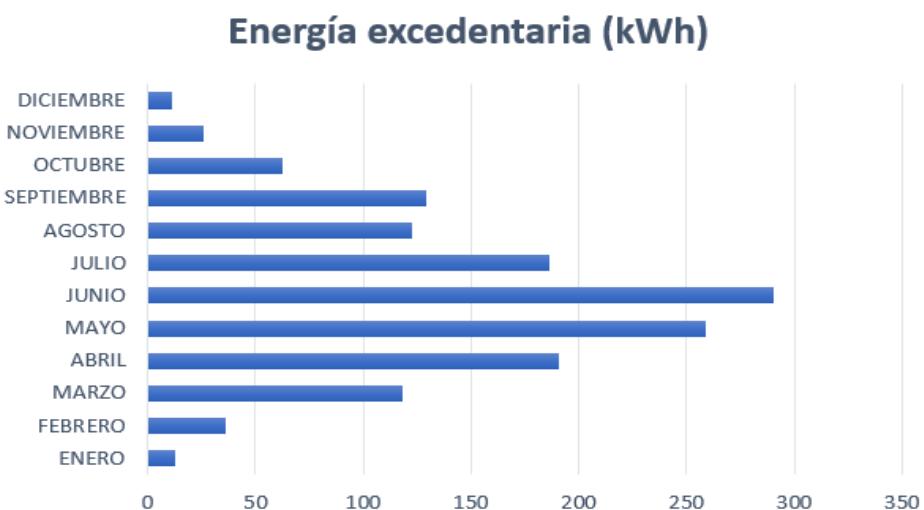


Figura 4.5: Energía excedentaria mensual para 2.55 kWp [Elaboración propia]

Para alcanzar este resultado, se ha ido reduciendo progresivamente la potencia a instalar, desde lo 8.16 kWp que se podrían instalar, hasta los 2.55 kWp, que son los que se han concluido como óptimos, por ser los que hacen la factura eléctrica del mes de junio lo más próxima posible a 0 €, sin llegar a ser menor. Esto sería el equivalente a una instalación formada por 10 paneles fotovoltaicos de los mencionado en el Anexo B.

En el Anexo C aparece el modelo de factura eléctrica para el mes de junio con una instalación de potencia 2.55 kWp, dónde se explica como se realiza el desglose de la factura eléctrica [16], tanto para el caso en el que haya una instalación de autoconsumo como en el que no lo haya. Realizar la factura de junio para cada una de las potencias es el último paso del estudio técnico para poder concluir cuál será la potencia óptima a instalar, y por ende, cuál será el número de paneles fotovoltaicos necesarios.

Potencia (kWp)	Nº paneles	Factura con autoconsumo (€)
8.16	32	-*
4.08	16	-*
2.04	8	3.66
2.55	10	0.80

Tabla 4.2: Factura eléctrica en junio según potencia instalada [Elaboración propia]

\*Con esas potencias la factura sale menor de 0 €

## 4.6. Dimensionado del inversor

Un inversor es un convertidor encargado de transformar la corriente continua que recibe de las placas solares fotovoltaicas en corriente alterna, para de esta manera convertir la energía producida en energía útil, ya que la corriente alterna es la que se usa en el hogar, la que se almacena en las baterías o la que se inyecta a la red.

En el caso de esta instalación, debido a que los módulos están colocados en uno de los faldones y que apenas hay sombras, se ha escogido un inversor en cadena, por lo que las placas estarán conectadas en serie. Actualmente se sobredimensiona el sistema, ya que por sobredimensionar un conjunto de paneles solares, se puede obtener un menor coste por la energía suministrada. El sobredimensionamiento de un sistema fotovoltaico, incrementará el coste por poner más paneles solares y las estructuras que se requieran, sin embargo esto no sería necesario hacerlo con otros componentes del sistema y así el aumento de la producción de energía se consigue con un menor precio por kW instalado, y esto a su vez los rendimientos en un menor coste específico de energía suministrada por el sistema fotovoltaico [23].

A la hora de elegir la potencia del inversor es muy importante conocer la potencia que va a haber instalada de energía fotovoltaica, que en este caso será de 2,55 kWp. Una decisión de diseño usada frecuentemente, es usar un factor de corrección de 0,8, correspondiente a una estimación del 80 %, para la potencia pico generada por el campo solar, por estimarse que las condiciones para conseguir dicha potencia, condiciones

STC, son demasiado optimistas respecto a las condiciones reales de funcionamiento [22].

En conclusión, teniendo en cuenta el sobredimensionamiento que hay que hacer para obtener el mejor rendimiento posible de la instalación de autoconsumo, se ha escogido un inversor de 2000 W de la marca Huawei, cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo D.

# Capítulo 5

## Estudio económico de la instalación

En este capítulo se va a realizar el estudio económico de la instalación de estudio, en el que el objetivo fundamental será conocer el ahorro que proporcionará al usuario la instalación de autoconsumo, y en cuanto años podrá rentabilizarla.

### 5.1. Inversión inicial

Para poder conocer en cuántos años se rentabilizará la instalación hay que conocer el desembolso inicial. En la tabla 5.1 se muestra la inversión inicial estimada para el proyecto de estudio, en la que se incluyen todos los gastos. Se ha realizado de manera aproximada suponiendo un beneficio de contratista del 6 % y recibiendo una subvención del 25 % del total, que se basa en la resolución de las últimas ayudas del Gobierno de Aragón para proyectos de energías renovables [17].

Descripción		Cantidad	Precio unitario (€)	Total (€)
Equipo	Módulos FV	10	175	1750
	Inversor	1	770	770
	Cableado	35	1.43	50.05
	Armario de protección CA	1	225	225
	Armario de protección CC	1	202	202
	Legalización y boletín	1	300	300
	Soportes	2	164.56	329.12
TOTAL MATERIAL (€)				<b>3626.17</b>
Personal	Oficial electricista	4	150	600
	Ayudante electricista	4	90	360
	Equipos de seguridad	2	100	200
TOTAL PERSONAL (€)				<b>1160</b>
TOTAL (€)				<b>4786.17</b>
Beneficio del contratista (6%)				287.17
Subtotal (€)				<b>5073.34</b>
Subvenciones (25%)				1268.34
<b>Inversión neta (€)</b>				<b>3805.01</b>

Tabla 5.1: Desglose inversión inicial [Elaboración propia]

Los precios de cada uno de los equipos y personal se ha obtenido de las siguientes fuentes:

- **Módulos FV:** se ha tomado de referencia el precio de los vendidos en la web WccSolar [18].
- **Inversor:** se ha escogido uno de la marca Huawei, que son de los más utilizados y cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo D. Su precio de referencia se ha obtenido de la web AutoSolar [21].
- **Cableado:** se han necesitado para la instalación un total de 35 m de cable [16].
- **Armarios de protección:** se distingue el de CA y el de CC, y se han mirado los precios en la web de YoAhorroEnergía [19].
- **Legalización y boletín:** esto depende de la Comunidad Autónoma en la que se realice el proyecto [20].
- **Soportes:** el montaje va a ser de 2 cadenas con 5 módulos cada una. El precio aproximado se ha obtenido de la web AutoSolar [21].
- **Personal:** este tema es bastante complejo de calcular y dependerá del tipo de instalación y de la empresa que la realice. Es por eso que se ha tomado como referencia un trabajo fin de máster [16].

## 5.2. Ahorro económico

En este apartado se va a realizar una comparativa del gasto económico en materia de energía eléctrica, entre el caso de tener la instalación de autoconsumo o no tenerla, y por consiguiente, el ahorro que se puede generar. Una de las motivaciones de este trabajo fin de grado era crear una instalación que generase energía eléctrica para autoconsumir y de esta manera no tener que comprarla en el mercado eléctrico, dónde en los últimos meses el precio de la energía se había disparado. Esta es una de las razones por las que una instalación de autoconsumo es quizás una de las medidas más efectivas para poder hacer frente a estos altos precios, y si la tendencia sigue a la alta, aún más.

Se ha realizado la factura eléctrica para cada uno de los meses, tanto para el caso de tener una instalación de autoconsumo o no tenerla, siguiendo el modelo del Anexo C. Si se observa la figura 5.1, se puede ver claramente cómo las facturas eléctricas sin

una instalación de autoconsumo son prácticamente constantes durante todo el año, exceptuando julio y agosto en los que se produce un consumo mucho mayor por el hecho de que la vivienda se usa todos los días. Por contra, si se observan los datos de las facturas de la instalación con autoconsumo, hay meses que el ahorro es prácticamente del 100 %, como en abril, mayo y junio, mientras que en los meses de menor producción el ahorro no supone más de un 20 %, como ocurre en enero y diciembre.

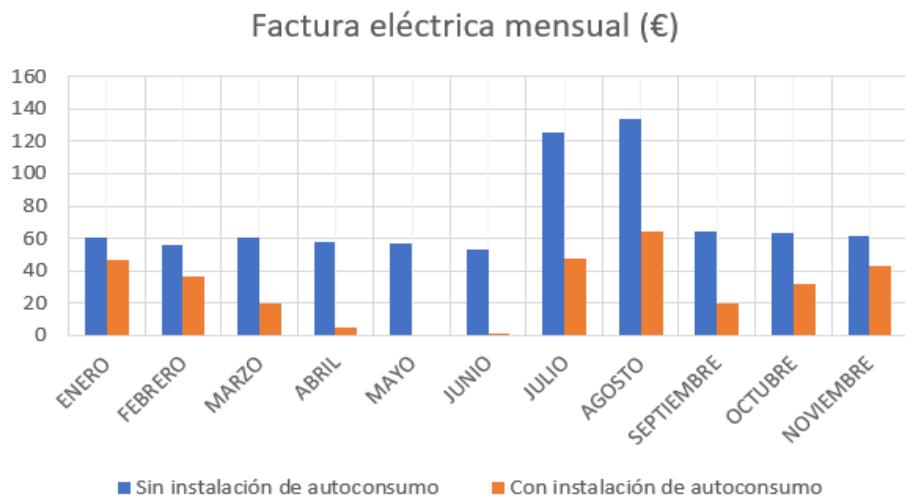


Figura 5.1: Comparativa de las facturas eléctricas mensuales [Elaboración propia]

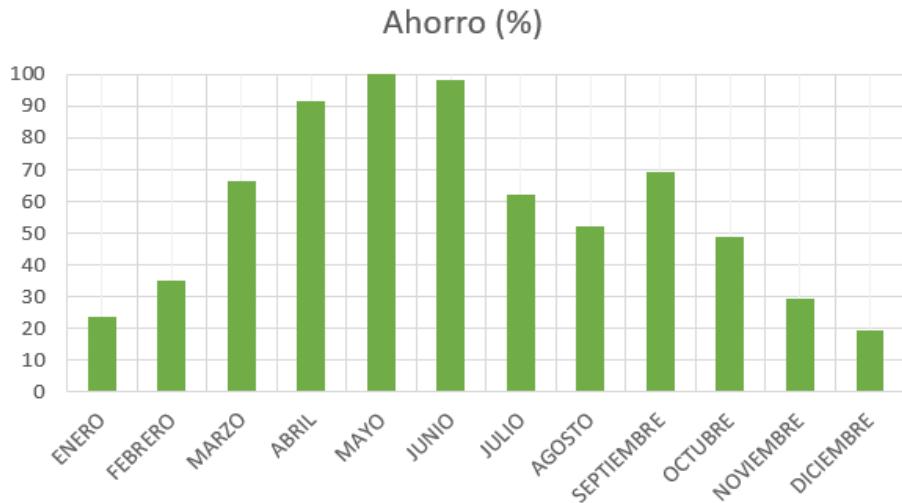


Figura 5.2: Ahorro mensual con una instalación de autoconsumo de 2.55 kWp [Elaboración propia]

Existiría la posibilidad de aumentar la potencia instalada, ya que mirando las facturas eléctricas con la instalación de autoconsumo, se observa que se sigue pagando bastante dinero por la energía, concretamente 368.53 €. Si se hiciera esto, para poder compensar los meses en los que se sigue pagando bastante habría que realizar

una inversión inicial mayor, y lo que es más importante, habría meses en los que la instalación estaría generando energía para inyectarla a la red sin recibir compensación, ya que estaría generando más de lo que necesitaría.

En todo momento, a la hora de calcular las facturas eléctricas teniendo la instalación de autoconsumo en funcionamiento, se ha estado acogido a la modalidad de autoconsumo con excedentes y con compensación. Para un proyecto de estas características, teniendo en cuenta que los objetivos fundamentales son producir energía eléctrica para autoconsumirla y pagar menos en la factura eléctrica, esa modalidad responde perfectamente a lo que se busca. Otra modalidad posible habría sido la de autoconsumo con excedentes sin acogerse a compensación, lo que habría implicado que fuese necesario registrar la instalación como productora de energía eléctrica. En este sentido, esta modalidad es más compleja y requiere pagar el impuesto de generación y liquidar el IVA cada trimestre, lo cuál no es lo que se busca en este proyecto [16].

### 5.3. Rentabilidad

A continuación, se va a tratar uno de los temas más importantes para un usuario a la hora de realizar un proyecto para una instalación de autoconsumo, que es la rentabilidad del mismo. Esto quiere decir que se quiere conocer en cuantos años, gracias al ahorro en la factura eléctrica que producirá el consumir energía de la instalación de autoconsumo, se tardaría en recuperar la inversión inicial. En instalaciones de autoconsumo para primeras viviendas, dependiendo del uso y dimensionamiento de la instalación, las rentabilidades suelen ser de entre 6 y 10 años, por lo que teniendo en cuenta que la instalación de estudio es para una segunda vivienda, se prevé que se tarde algún año más en rentabilizarla.

Para poder conocer esta rentabilidad, en el Anexo E se han calculado el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad). El estudio se ha hecho para un total de 25 años, que es la estimación media de vida de una instalación fotovoltaica de autoconsumo. Se ha supuesto un gasto anual de 100 € de mantenimiento para prevenir posibles fallos o daños en la instalación, aunque esto variará en función de muchos factores.

Para obtener el VAN y el TIR se necesitan conocer las ganancias anuales, que serán lo se ahorra en energía eléctrica por tener la instalación de autoconsumo en comparación con no tenerla, y restándole los 100 € de mantenimiento mensuales, por

lo que se quedará en una estimación de 389.67 € de ganancias anuales. Para saber si la instalación es rentable, el VAN deberá ser positivo, cosa que ocurre a partir del año 11. Desde ese momento, se considerará que se ha recuperado la inversión inicial y que cada año se tendrán unas ganancias de 389.67 €.

Por otro lado se encuentra el TIR, el cuál consiste en el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN alcance un valor igual a 0. Es conveniente tener valores de TIR altos, ya que esto conduce a una mayor rentabilidad del dinero invertido. En el Anexo E se puede comprobar como, al pasar los años, el TIR va aumentando hasta el año 25, dónde habría alcanzado su rentabilidad máxima.

# **Capítulo 6**

## **Conclusiones**

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado era ofrecer una posible solución al cambio climático a través del impulso de las energías renovables en el sector residencial, y hacer frente al aumento del precio de la energía. La solución que se ofrecía era la de instalar paneles fotovoltaicos para autoconsumo en una segunda vivienda, ya que un gran porcentaje de españoles poseen segundas residencias, pero debido a su menor uso, son lugares en los que no es tan común encontrarse con instalaciones de este tipo. A través de este trabajo, los usuarios podrán ser capaces de conocer cómo se podría realizar el dimensionamiento de la instalación para su caso, y cuántos años tardarían en rentabilizarla.

En primer lugar se ha realizado el estudio técnico, en el cuál se ha concluido cuál era la potencia óptima a instalar para este caso, teniendo como objetivo que toda la energía que se produjese durante el año se autoconsumiese o se obtuviese una compensación por inyectarla a red, pero que en ningún caso se regalase.

Tras realizar el estudio técnico, se ha procedido con el estudio económico, en el cuál, teniendo en cuenta el nuevo modelo de factura eléctrica que entró en vigor el 1 de junio de 2021, y un escenario económico pesimista en el que los precios de la energía se mantienen tan altos como estos últimos meses, se ha concluido que la mejor decisión para una instalación de autoconsumo en una segunda vivienda es la de acogerse a la modalidad con excedentes y compensación. Además, tras realizar el estudio de la rentabilidad del VAN y TIR, se ha obtenido una rentabilidad a 11 años, que no es un mal dato teniendo en cuenta que actualmente las instalaciones de este tipo en primeras residencias obtienen rentabilidades de entre 6 y 10 años. A medida que sigan incrementando los precios de la energía, las instalaciones de este tipo se irán haciendo más rentables, ya que el ahorro será mayor al no estar pagando esos elevados precios y estar autoconsumiendo la energía que se genere, por lo que el precio de la

instalación por kW instalado irá disminuyendo.

El estudio de este Trabajo Fin de Grado podría continuar con muchos otros escenarios, ya que a parte de servir de modelo para usuarios que se encuentren en la situación descrita, también se podrían incluir escenarios económicos más optimistas o pesimistas, dónde se estudiase la rentabilidad y potencia a instalar dependiendo de si suben o bajan los precios de la energía. Además, se puede ofrecer la posibilidad de gestionar la energía que se produce y contribuir al impulso de las energías renovables en el sector residencial, el cuál en los próximos años, debido a la aparición del coche eléctrico, va a necesitar de estas instalaciones para poder desarrollarse.

# Capítulo 7

## Bibliografía

- [1] UNED. Declaración de Río de Janeiro sobre el medio ambiente y el desarrollo. <http://portal.uned.es/>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [2] UNFCCC. Pacto de Glasgow para el clima. <https://unfccc.int/>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [3] Gobierno de España. Objetivos y metas de desarrollo sostenibles. <https://www.agenda2030.gob.es/objetivos/home.htm>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [4] XATAKA. Sundrive es la startup australiana con el récord de eficiencia en paneles solares. <https://www.xataka.com/energia/>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [5] Bankinter. ¿Cuántos españoles tienen dos o más viviendas? <https://www.bankinter.com/blog/finanzas-personales/propietarios-mas-dos-viviendas>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [6] ESIOS. Término de facturación de energía activa del PVPC 2.0TD. <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [7] ESIOS. Precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada (PVPC). <https://www.esios.ree.es/es/pvpc>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [8] REN21. *Renewables 2021: Global Status Report*. Number ISBN 978-3-948393-03-8. 2021.
- [9] Wikipedia. Crecimiento de la energía solar fotovoltaica. <https://es.wikipedia.org/>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [10] Red Eléctrica de España. *Las energías renovables en el sistema eléctrico español 2020*. 2021.

- [11] CTE. Código Técnico de Edificación. <https://www.codigotecnico.org/>. [Accedido en diciembre de 2021].
- [12] Departamento Solar del IDAE. *Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo*. Madrid, octubre de 2020.
- [13] Gobierno de España. *Condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. BOE. Real Decreto 244/2019, 5 de abril de 2019.
- [14] CTE. *Documento Básico HE Ahorro de Energía*. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica. 2019.
- [15] M<sup>a</sup> Pilar Auría Gil. Estudio técnico y económico de instalaciones de autoconsumo fotovoltaico. Trabajo fin de grado, Universidad de Zaragoza, 2019.
- [16] María Forcada Ortiz. Estudio técnico y económico de la normativa actual sobre autoconsumo en españa. Trabajo fin de máster, Universidad de Zaragoza, 2021.
- [17] Gobierno de Aragón. *ORDEN ICD/1361/2021*. BOA. 21 de octubre de 2021.
- [18] WccSolar. Código Técnico de Edificación. <https://www.wccsolar.net/product-page/panel-solar-250w-monocristalino-negro>. [Accedido en enero de 2022].
- [19] YoAhorroEnergía. <https://yoahorroenergia.es/categoría-producto/protecciones/>. [Accedido en enero de 2022].
- [20] Sun Fields Europe. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/placas-solares-para-casa-precios/>. [Accedido en enero de 2022].
- [21] Auto Solar. <https://autosolar.es/inversores-hibridos/inversor-huawei-sun2000-2ktl-11-2000w>. [Accedido en enero de 2022].
- [22] Ikastaroak. Elección del inversor en instalaciones fotovoltaicas. <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/>. [Accedido en enero de 2022].
- [23] SOL Energy. Razones por las que sobredimensionar un sistema fotovoltaico. <https://www.solenergy.mx/es/principal/blog/7-razones-del-porque-sobredimensionar-su-sistema-fotovoltaico>. [Accedido en enero de 2022].

- [24] CNMC. La nueva factura de la luz. <https://www.cnmc.es/novedades/2021-06-01-la-nueva-factura-de-la-luz-388421>. [Accedido en enero de 2022].
- [25] OCU. Ahorrar en la luz de tu segunda vivienda. <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/luz-segunda-residencia>. [Accedido en enero de 2022].
- [26] Ingemecanica. Ficha técnica Isofotón ISF-255. <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/objetos/figutut192/doc3tut192.pdf>. [Accedido en enero de 2022].

# **Lista de Figuras**

2.1.	Evolución de la FV instalada en el mundo [8] . . . . .	3
2.2.	Potencia instalada de energías renovables en el mundo 2019 y 2020 [8] .	4
2.3.	Potencia de FV instalada por países [8] . . . . .	4
2.4.	Curva de aprendizaje de la celda solar desde 1976 hasta 2019 [9] . . . .	5
2.5.	Evolución potencia solar fotovoltaica instalada en España [10] . . . .	6
2.6.	Potencia solar fotovoltaica instalada por comunidades [10] . . . . .	6
2.7.	Zonas climáticas España [11] . . . . .	7
2.8.	Evolución del precio de la energía eléctrica en el PVPC [Elaboración propia]	8
2.9.	Tramos horarios [24] . . . . .	8
3.1.	Autoconsumo colectivo a través de red [12] . . . . .	12
4.1.	Vivienda de estudio [Elaboración propia] . . . . .	13
4.2.	Inclinación y orientación de los módulos [14] . . . . .	14
4.3.	Diagrama de trayectorias del sol [14] . . . . .	16
4.4.	Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación [14] . . . . .	17
4.5.	Energía excedentaria mensual para 2.55 kWp [Elaboración propia] . .	19
5.1.	Comparativa de las facturas eléctricas mensuales [Elaboración propia] .	24
5.2.	Ahorro mensual con una instalación de autoconsumo de 2.55 kWp [Elaboración propia] . . . . .	24
B.1.	Ficha técnica Isofotón ISF-255 [26] . . . . .	38
D.1.	Ficha técnica Huawei SUN2000L1 [21] . . . . .	44

# **Lista de Tablas**

4.1. Pérdidas límite [14] . . . . .	15
4.2. Factura eléctrica en junio según potencia instalada [Elaboración propia]	20
5.1. Desglose inversión inicial [Elaboración propia] . . . . .	22
A.1. Consumo energético de las luminarias de la vivienda [Elaboración propia]	35
A.2. Consumo de los aparatos eléctricos de la vivienda [Elaboración propia]	36
C.1. Factura eléctrica junio con instalación 2.55 kWp [Elaboración propia] .	41
C.2. Factura eléctrica junio sin instalación [Elaboración propia] . . . . .	42
E.1. VAN y TIR en instalación 2.55 kWp [Elaboración propia] . . . . .	47

## **Anexos**

## Anexos A

### Estimación consumo energético

Se trata de una vivienda unifamiliar que tiene 2 cuartos de baño, 3 habitaciones, una cocina, un salón, un garaje, un jardín y una piscina. Para estimar el consumo se han tenido en cuenta todas las luminarias presentes en la vivienda y todos los aparatos eléctricos que se suelen conectar.

En la tabla A.1 se van a mostrar todos los puntos de luz presentes en todas las zonas de la vivienda, junto con la potencia en W de estos, y las horas que se suelen utilizar en promedio diariamente. Destacar que solamente se han diferenciado entre bombillas de 10 W, para englobar las de menor potencia, y de 20 W tipo fluorescentes, para englobar a las de mayor potencia.

#### LUMINARIAS

Zona	Nº puntos de luz	Potencia [W]	Horas de utilización
Salón	4	10	3
Dormitorio 1	1	10	1
Dormitorio 2	2	10	2
Dormitorio 3	2	10	1
Baño 1	1	20	1
Baño 2	1	20	0.5
Cocina	1	20	3
Garaje	2	20	1
Jardín	6	10	1
Pasillo	1	10	0.5

Tabla A.1: Consumo energético de las luminarias de la vivienda [Elaboración propia]

En la tabla A.2 se van a mostrar los electrodomésticos y aparatos eléctricos que son de uso cotidiano en la vivienda. Los valores de potencia se han sacado de la vivienda real del autor, así como todos los aparatos presentes en la tabla A.2. Destacar que la nevera será el único electrodoméstico que estará conectado los 365 días del año, y que en verano el consumo que realizará la depuradora de la piscina será realmente importante. En esta tabla no se incluirán horas de utilización, ya que esto variará en función de la época del año.

## APARATOS ELÉCTRICOS

<b>Tipo</b>	<b>Nº puntos de luz</b>	<b>Potencia [W]</b>
Televisión	1	100
Ordenador	1	45
Ventilador 1	1	4
Ventilador 2	1	4
Horno	1	900
Microondas	1	800
Lavadora	1	1000
Nevera	1	100
Depuradora piscina	1	750
Placa de inducción	1	1000
Extractor	1	65
Panel calefactor	1	600

Tabla A.2: Consumo de los aparatos eléctricos de la vivienda [Elaboración propia]

## **Anexos B**

### **Ficha técnica Isofotón ISF-255**

# MÓDULO MONOCRISTALINO ISF-255

## Disfrute de las ventajas de ISOFOTON

-  Experiencia de más de 30 años en la fabricación de células y módulos fotovoltaicos
-  Experiencia internacional en el desarrollo de proyectos: más de 300 en todo el mundo
-  Asistencia técnica
-  Tecnología punta y calidad certificada
-  Compromiso con el medio ambiente

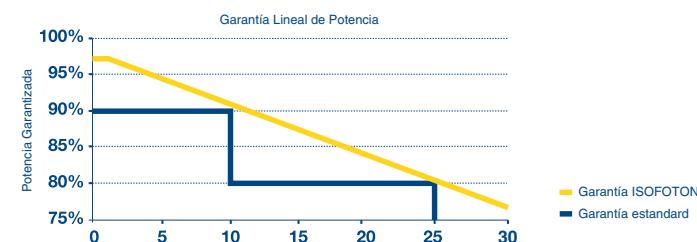
## Disfrute de las ventajas de la gama ISF

-  Vidrio microtexturado con mayor capacidad de absorción de la luz difusa, que garantiza más eficiencia
-  Caja de conexión diseñada para minimizar las pérdidas eléctricas
-  El módulo más ligero de su categoría, lo que facilita su manejo y el ahorro de coste en estructura

## La garantía ISOFOTON

**NUEVO!! 30** años de garantía lineal de potencia que mejora en un 25% la garantía estándar de mercado

**10** años de garantía de producto



## Certificados de Empresa



Desde 1999



Desde 2001



Desde 2008



Desde 2012



Desde 2007  
ISOFOTON es socio fundador



# MÓDULO MONOCRISTALINO ISF-255

## CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Comportamiento en STC: Irradiancia 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula 25 ° C, AM 1,5

	ISF - 245	ISF - 250	ISF - 255
Potencia nominal (Pmax)	245 W	250 W	255 W
Tensión en circuito abierto (Voc)	37,6 V	37,8 V	37,9 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,63 A	8,75 A	8,86 A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmáx)	30,5 V	30,6 V	30,9 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,04 A	8,17 A	8,27 A
Eficiencia	14,8 %	15,1 %	15,4 %
Tolerancia de potencia (% Pmax)	0/+3 %	0/+3 %	0/+3 %

Comportamiento a Irradiancia 800 W/m<sup>2</sup>, TONC, temperatura ambiente 20 ° C, AM 1,5; velocidad del viento 1 m/s

	ISF - 245	ISF - 250	ISF - 255
Potencia máxima (Pmax)	178 W	181 W	185 W
Tensión en circuito abierto (Voc)	34,8 V	35,0 V	35,1 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	6,96 A	7,06 A	7,15 A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmáx)	27,4 V	27,5 V	27,7 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	6,49 A	6,59 A	6,67 A

Reducción de Eficiencia desde 1.000 W/m<sup>2</sup> a 200 W/m<sup>2</sup> según IEC 60904-1 5% (+/-3%)

## CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Tensión máxima del sistema	1000 V
Límite de corriente inversa	20 A
Temperatura nominal de operación de la célula (TONC)	45 +/- 2° C
Temperatura de operación	-40 to + 85° C
Coeficiente de temperatura de Pmax	-0,44%/K
Coeficiente de temperatura de Voc	-0,334%/K
Coeficiente de temperatura de Isc	0,048/K

## Certificados de producto



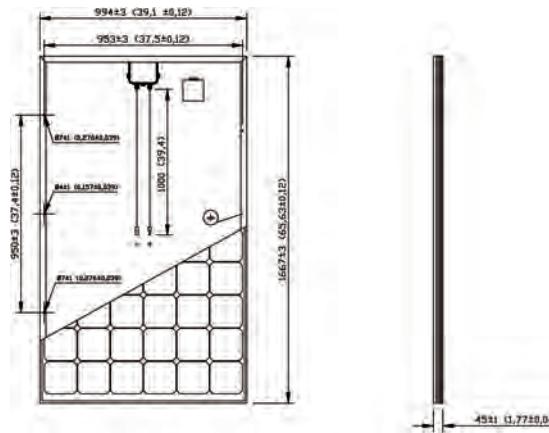
JPEC 太陽光発電普及拡大センター



## CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Célula solar	Silicio Monocristalino - 156 mm x 156 mm (6 pulgadas)
Número de células	60 células (6x10)
Dimensiones	1667 x 994 x 45 mm
Peso	19 Kg
Vidrio	Alta transmisividad, texturado y templado de 3,2 mm (EN-12150)
Marco	Aluminio anodizado, toma de tierra
Máxima carga admisible	5400 Pa (carga de nieve)
Caja de conexión	IP 65 con 3 diodos de bypass
Cables y Conector	Cable solar de 1 m y sección 4 mm <sup>2</sup> . Conector MC4 o LC4

## DIMENSIONES



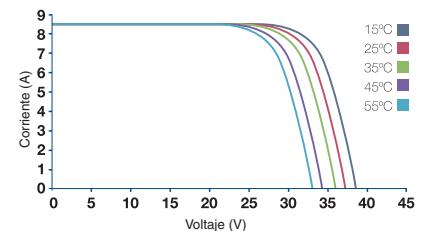
## EMBALAJE

Módulos por palet  
24

Tamaño del embalaje (palet + caja)

1720 x 1140 x 1155mm

Materiales Reciclables



## DATOS DE CONTACTO

### FÁBRICA

Parque Tecnológico de Andalucía (PTA)  
C/ Severo Ochoa, 50  
29590 Málaga - España  
Tel: +34 951 233 500  
isofoton.m@isofoton.com

### OFICINA COMERCIAL

Torre de Cristal  
Paseo de la Castellana, 259C (Planta 17)  
28046 Madrid - España  
Tel: +34 914 147 800  
isofoton@isofoton.com

## **Anexos C**

### **Modelo factura eléctrica 2.55 kWp**

Se ha considerado adecuada una potencia contratada de 5 kW. Se podría llegar a considerar que es una potencia algo superior a lo esperado teniendo en cuenta que es una vivienda que la mayor parte del año se encuentra vacía, pero al ser un unifamiliar con piscina, durante el verano, mientras funcione la depuradora, el consumo será bastante alto, por lo que tener contratada una potencia ligeramente superior a lo habitual para una segunda vivienda [25] permitirá mayor libertad a la hora de utilizar el resto de aparatos eléctricos. El modelo de factura eléctrica que se presenta en la siguiente página es el de una instalación con la modalidad de autoconsumo con excedentes acogido a compensación, ya que sería la modalidad adecuada para una instalación del tipo que se está estudiando.

POTENCIA CONTRATADA (Término fijo)	kW	€/kW/año	€/mes
<b>P1 (punta)</b>			
Peajes de transporte y distribución	5	23.469833	9.78
Cargos	5	7.202827	3.00
Margen comercialización	5	3.11304	1.30
Total P1 (€)			14.08
<b>P2 (valle)</b>			
Peajes de transporte y distribución	5	0.96113	0.40
Cargos	5	0.463229	0.19
Total P2 (€)			0.59
<b>TOTAL Término FIJO (€)</b>			14.67
ENERGÍA CONSUMIDA (Término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
<b>P1 (punta)</b>			
Peajes de transporte y distribución	12.12355	0.027378	0.33
Cargos	12.12355	0.10574	1.28
Pagos por capacidad	12.12355	0.001211	0.01
Coste de la energía		kWh*precio horario*0.289	2.06
Total P1 (€)			3.69
<b>P2 (llano)</b>			
Peajes de transporte y distribución	11.0748	0.020624	0.23
Cargos	11.0748	0.021148	0.23
Pagos por capacidad	11.0748	0.000484	0.01
Coste de la energía		kWh*precio horario*0.264	1.88
Total P2 (€)			2.35
<b>P3 (valle)</b>			
Peajes de transporte y distribución	18.75165	0.000714	0.01
Cargos	18.75165	0.005287	0.10
Pagos por capacidad	18.75165	0.000242	0.00
Coste de la energía		kWh*precio horario*0.447	3.19
Total P3 (€)			3.30
Excedentes		kWh*precio horario	23.86
<b>TOTAL Término VARIABLE (€)</b>			-14.52
<b>Subtotal (Término fijo y variable) (€)</b>			<b>0.15</b>
Impuesto sobre electricidad (5.1127%)			0.01
Alquiler contador + IPC			0.57
<b>Subtotal (€)</b>			<b>0.73</b>
IVA (10%)			Subtotal*0.1
<b>TOTAL FACTURA (€)</b>			<b>0.81</b>

Tabla C.1: Factura eléctrica junio con instalación 2.55 kWp [Elaboración propia]

POTENCIA CONTRATADA (Término fijo)	kW	€/kW/año	€/mes
<b>P1 (punta)</b>			
Peajes de transporte y distribución	5	23.469833	9.78
Cargos	5	7.202827	3.00
Margen comercialización	5	3.11304	1.30
<b>Total P1 (€)</b>			<b>14.08</b>
<b>P2 (valle)</b>			
Peajes de transporte y distribución	5	0.96113	0.40
Cargos	5	0.463229	0.19
<b>Total P2 (€)</b>			<b>0.59</b>
<b>TOTAL Término FIJO (€)</b>			<b>14.67</b>
ENERGÍA CONSUMIDA (Término variable)	kWh	€/kWh	€/mes
<b>P1 (punta)</b>			
Peajes de transporte y distribución	33.95172	0.027378	0.93
Cargos	33.95172	0.10574	3.59
Pagos por capacidad	33.95172	0.001211	0.04
Coste de la energía		kWh*precio horario*0.289	5.94
<b>Total P1 (€)</b>			<b>10.50</b>
<b>P2 (llano)</b>			
Peajes de transporte y distribución	31.01472	0.020624	0.64
Cargos	31.01472	0.021148	0.66
Pagos por capacidad	31.01472	0.000484	0.02
Coste de la energía		kWh*precio horario*0.264	5.43
<b>Total P2 (€)</b>			<b>6.74</b>
<b>P3 (valle)</b>			
Peajes de transporte y distribución	52.51356	0.000714	0.04
Cargos	52.51356	0.005287	0.28
Pagos por capacidad	52.51356	0.000242	0.01
Coste de la energía		kWh*precio horario*0.447	9.19
<b>Total P3 (€)</b>			<b>9.51</b>
Excedentes		kWh*precio horario	0.00
<b>TOTAL Término VARIABLE (€)</b>			<b>26.75</b>
<b>Subtotal (Término fijo y variable) (€)</b>			<b>41.42</b>
Impuesto sobre electricidad (5.1127%)			2.12
Alquiler contador + IPC			0.57
<b>Subtotal (€)</b>			<b>44.11</b>
IVA (10%)			Subtotal*0.10
<b>TOTAL FACTURA (€)</b>			<b>48.52</b>

Tabla C.2: Factura eléctrica junio sin instalación [Elaboración propia]

## **Anexos D**

### **Ficha técnica inversor**

# Smart Energy Center



## Seguridad activa

Protección contra arcos eléctricos  
activa con tecnología de IA



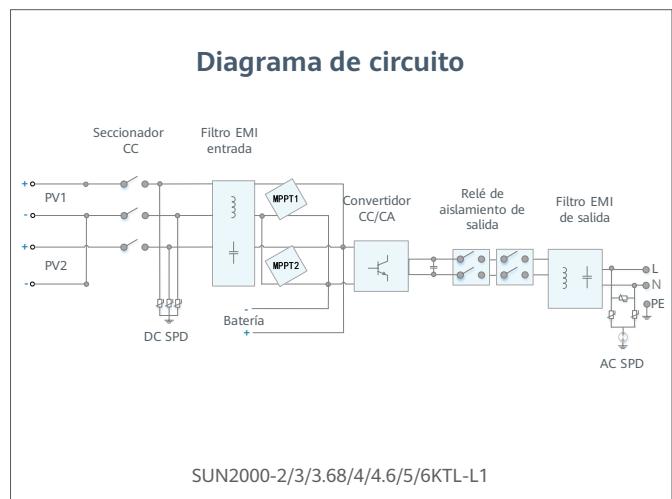
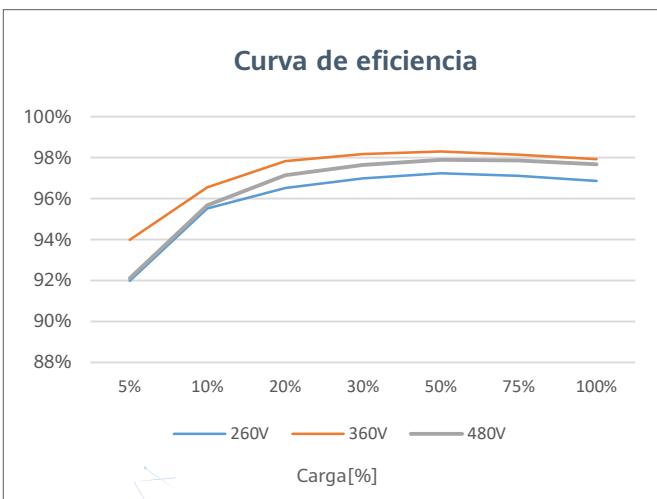
## Mayor rendimiento

Hasta un 30 % más de  
energía con optimizadores



## 2x POTENCIA de Batería

5kW de Salida en CA más  
5kW de Carga en Baterías



SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1  
**Especificaciones técnicas**

Especificaciones técnicas	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -3.68KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -4.6KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 <sup>1</sup>
<b>Eficiencia</b>							
Eficiencia Máxima	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
Eficiencia europea	96.7 %	97.3 %	97.3 %	97.5 %	97.7 %	97.8 %	97.8 %
<b>Entrada ( FV )</b>							
Entrada de CC máxima recomendada <sup>2</sup>	3,000 Wp	4,500 Wp	5,520 Wp	6,000 Wp 600 V <sup>3</sup>	6,900 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Máx. tensión de entrada				100 V			
Tensión de arranque				90 V ~ 560 V <sup>3</sup>			
Rango de tensión de operación de MPPT				360 V			
Tensión nominal de entrada				12.5 A			
Máx. intensidad por MPPT				18 A			
Máx. intensidad de cortocircuito por MPPT				2			
Cantidad de MPPTs				1			
Máx. número de entradas por MPPT							
<b>Entrada ( Batería CC )</b>							
Batería compatible				LG Chem RESU 7H_R / 10H_R			
Rango de tensión de operación				350 ~ 450 Vcc			
Max. corriente de operación				10 A @7H_R / 15 A @10H_R			
Potencia de carga máxima				3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R			
Potencia máxima de descarga @ 7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Potencia máxima de descarga @ 10H_R	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
Batería compatible				HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh ~ 30kWh <sup>1</sup>			
Rango de tensión de operación				350 ~ 560 Vdc			
Max. corriente de operación				15 A			
Potencia de carga máxima				5,000 W <sup>4</sup>			
Potencia máxima de descarga	2,200 W	3,300 W	3,680 W	4,400 W	4,600 W	5,000 W	5,000 W
<b>Salida</b>							
Conexión a la red eléctrica				Monofásica			
Potencia de salida nominal	2,000 W	3,000 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W	5,000 W <sup>5</sup>	6,000 W
Máx. potencia aparente de CA	2,200 VA	3,300 VA	3,680 VA	4,400 VA	5,000 VA <sup>6</sup>	5,500 VA <sup>7</sup>	6,000 VA
Tensión nominal de Salida				220 Vac / 230 Vac / 240 Vac			
Frecuencia nominal de red de CA				50 Hz / 60 Hz			
Máx. intensidad de salida	10 A	15 A	16 A	20 A	23 A 8	25 A <sup>8</sup>	27.3 A
Factor de potencia ajustable				0.8 leading ... 0.8 lagging			
Máx. distorsión armónica total				≤ 3 %			
Salida para SAI				Sí (a través de Backup Box-B0 <sup>1</sup> )			
<b>Protección &amp; Características</b>							
Protección anti-isla				Sí			
Protección contra polaridad inversa de CC				Sí			
Monitorización de aislamiento				Sí			
Protección contra descargas atmosféricas CC				Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11			
Protección contra descargas atmosféricas CA				Sí, clase de protección TIPO II compatible según EN / IEC 61643-11			
Monitorización de la corriente residual				Sí			
Protección contra sobreintensidad de CA				Sí			
Protección contra cortocircuito de CA				Sí			
Protección contra sobretensión de CA				Sí			
Protección contra sobrecalentamiento				Sí			
Protección de falla de arco				Sí			
Carga inversa de la batería desde la red				Sí			
<b>Datos generales</b>							
Rango de temperatura de operación				-25 ~ +60 °C			
Humedad relativa de operación				0 %RH ~ 100 %RH			
Altitud de operación				0 ~ 4,000 m (disminución de la capacidad eléctrica a partir de los 2000 m)			
Ventilación				Convección natural			
Pantalla				Indicadores LED; WLAN integrado + aplicación FusionSolar			
Comunicación				RS485, WLAN a través del módulo WLAN incorporado en el inversor			
Peso (incluido soporte de montaje)				Ethernet a través de Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional); 4G / 3G / 2G a través de Smart Dongle-4G (Opcional)			
Dimensiones (incluido soporte de montaje)				12.0 kg			
Grado de protección				365mm * 365mm * 156 mm			
Consumo de energía durante la noche				IP65			
				< 2,5 W			
<b>Compatibilidad con optimizadores</b>							
Optimizador compatible con MBUS CC				SUN2000-450W-P			
<b>Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)</b>							
Seguridad				EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2			
Estándares de conexión a red eléctrica				G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116			

\* 1 Disponible en Q3 del 2020.

\* 2 La potencia fotovoltaica de entrada máxima del inversor es de 10.000 Wp cuando las cadenas largas se diseñen y conecten al completo de optimizadores de potencia SUN2000-450W-P.

\* 3 El límite máximo de tensión de entrada y de operación se reducirán a 495 V cuando el inversor se conecte y funcione con la batería LG.

\* 4 2.500 W en las baterías HUAWEI ESS de 5kWh

\* 5 AS4777.2:4,991W. \* 6. VDE-AR-N 4105:4,600VA / AS4777.2:4,999VA. \* 7. AS4777.2:4,999VA / C10/11:5,000VA. \* 8. AS4777.2:21.7A.

## **Anexos E**

### **VAN y TIR para instalación de autoconsumo de 2.55 kWp**

<i>Año</i>	<i>Ingresos anuales (€)</i>	<i>Mantenimiento (€)</i>	<i>Flujo de caja no actualizado</i>	<i>VAN</i>	<i>TIR</i>
<i>Inversión inicial (€)</i>			<b>-3625.54</b>		
<b>1</b>	489.67	100	389.67	<b>-3243.51</b>	-89%
<b>2</b>	489.67	100	389.67	<b>-2868.97</b>	-61%
<b>3</b>	489.67	100	389.67	<b>-2501.78</b>	-41%
<b>4</b>	489.67	100	389.67	<b>-2141.78</b>	-27%
<b>5</b>	489.67	100	389.67	<b>-1788.85</b>	-18%
<b>6</b>	489.67	100	389.67	<b>-1442.83</b>	-11%
<b>7</b>	489.67	100	389.67	<b>-1103.60</b>	-7%
<b>8</b>	489.67	100	389.67	<b>-771.02</b>	-3%
<b>9</b>	489.67	100	389.67	<b>-444.96</b>	-1%
<b>10</b>	489.67	100	389.67	<b>-125.30</b>	1%
<b>11</b>	489.67	100	389.67	188.10	3%
<b>12</b>	489.67	100	389.67	495.35	4%
<b>13</b>	489.67	100	389.67	796.58	5%
<b>14</b>	489.67	100	389.67	1091.90	6%
<b>15</b>	489.67	100	389.67	1381.43	7%
<b>16</b>	489.67	100	389.67	1665.29	7%
<b>17</b>	489.67	100	389.67	1943.57	8%
<b>18</b>	489.67	100	389.67	2216.40	8%
<b>19</b>	489.67	100	389.67	2483.89	8%
<b>20</b>	489.67	100	389.67	2746.12	9%
<b>21</b>	489.67	100	389.67	3003.22	9%
<b>22</b>	489.67	100	389.67	3255.27	9%
<b>23</b>	489.67	100	389.67	3502.38	9%
<b>24</b>	489.67	100	389.67	3744.65	10%
<b>25</b>	489.67	100	389.67	3982.17	10%

Tabla E.1: VAN y TIR en instalación 2.55 kWp [Elaboración propia]